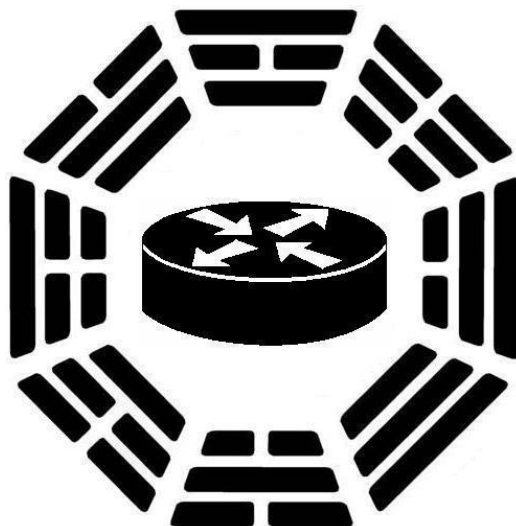




**Carlos Eduardo
Vieira Amador**

**AP WiFi/ZigBee para Suporte à Localização
Baseada em Redes Sem Fios**





**Carlos Eduardo
Vieira Amador**

**AP WiFi/ZigBee para Suporte à Localização
Baseada em Redes Sem Fios**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Arnaldo Oliveira e do Professor Doutor José Alberto Fonseca, do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

Dedicado

Aos meus pais.

Ao meu irmão.

O Juri

Presidente

Professor Doutor Rui Luís Andrade Aguiar

Professor Associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

Vogais

Professor Doutor José Alberto Gouveia Fonseca

Professor Associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Mário João Barata Calha

Professor Auxiliar do Departamento de Informática da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Professor Doutor Arnaldo Silva Rodrigues de Oliveira

Professor Auxiliar do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Quero agradecer aos meus pais, Maria e António Amador, e ao meu irmão, António Jorge Amador, por todo o apoio que me deram em todos estes anos, durante os quais sempre me encorajaram para enfrentar este desafio. Também agradeço aos meus amigos que sempre estiveram do meu lado por durante os altos e os baixos do meu percurso. Aos meus colegas que me ajudaram durante este projecto. Por fim quero deixar um obrigado especial aos meus orientadores Professor Doutor Arnaldo Oliveira e Professor Doutor José Alberto Fonseca, pelo tempo, paciência e pelo esforço que demonstraram durante este ano.

Obrigado

Carlos Eduardo Vieira Amador

Palavras Chave

Zigbee, Localização, Ethernet, Gateway, Wi-Fi, IEEE 802.11, IEEE 802.15.4

Resumo

A evolução da tecnologia no ramo das telecomunicações sem fios impulsiona o desenvolvimento de novas aplicações para as mais diversas áreas. As redes sem fios proporcionam aos sistemas uma versatilidade em termos de instalação, posicionamento e mobilidade. O protocolo ZigBee implementado sobre a norma IEEE 802.15.4 que surge como responsabilidade da ZigBee Alliance, é um protocolo orientado para uma comunicação sem fios caracteristicamente definido por baixo consumo e baixo débito. A utilização deste protocolo é bastante abrangente, podendo ser usado como uma ferramenta para implementar um sistema de localização. Neste projecto pretende-se estender um AP 802.11 de forma a poder incluir no mesmo equipamento físico, além das funcionalidades habituais, uma interface ZigBee, a qual poderá ser usada para comunicação sem fios. Além da comunicação entre Wi-Fi e Ethernet assegurada pelo AP *standard*, deverá ser possível a conectividade entre ZigBee e Ethernet, e opcionalmente entre ZigBee e Wi-Fi. Para que isto seja possível será necessário adquirir, desenvolver e integrar diversos componentes quer de *hardware* (módulos de processamento, comunicação e interfaces físicos), quer de *software* (device drivers e pilhas protocolares de comunicação). Com base nesta plataforma é possível desenvolver um sistema de localização orientado ao compartimento. Esta plataforma ainda permite a possibilidade do desenvolvimento de protocolos de localização mais específicos. Neste projecto foi desenvolvido o sistema de localização em causa, o qual a partir da potência de um sinal recebido num ponto de acesso pode determinar se uma *tag* se encontra nas proximidades desse ponto de acesso. A recolha de informação é feita pela emissão da informação recebida por parte de cada ponto de acesso para um servidor central, o qual por sua vez recolhe e trata os dados, e posteriormente apresenta os resultados numa interface Web.

Keywords

Zigbee, Localization, Ethernet, Gateway, Wi-Fi, IEEE 802.11, IEEE 802.15.4

Abstract

The evolution of the technology in the wireless telecommunications industry drives the development of new applications for many different areas. Wireless networks provide the systems versatility in terms of installation, positioning and mobility. The ZigBee protocol implemented over the IEEE 802.15.4 standard and liability arising as the ZigBee Alliance, it's a protocol-oriented wireless communication typically defined by low consumption and low bandwidth. This protocol can be used in a variety of applications, so it also can be used as a tool to implement a tracking system. This project aims to extend an 802.11 AP so it can include in the same physical equipment, besides the usual features, a ZigBee interface, which can be used for wireless communication. In addition to communication between Wi-Fi and Ethernet normally provided by an AP, it should be possible to link between ZigBee and Ethernet, and optionally between ZigBee and WiFi. To make this possible will be necessary to acquire, develop and integrate various components of hardware (processing modules, communication interfaces and physical interfaces) and software (device drivers and protocol stacks for communication). Based on this platform you can develop a system for compartment oriented localization. This platform also allows the possibility of developing protocols for more specific localization. In this project it was developed the tracking system in question, which from the signal power received in the access point may determine whether a tag is in the range of the access point. The collection of information is done by issuing the information received by each access point to a central server, which collects and treats the data and subsequently displays the results in a Web interface.

Conteúdo

Conteúdo	I
Lista de Figuras	III
Lista de Tabelas	V
Lista de Acrónimos	VII
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento e Motivação	1
1.2 Objectivos	3
1.3 Contribuições	4
1.4 Organização da Dissertação	5
2 Localização Baseada em RF	7
2.1 Princípio Genérico	7
2.2 Estado da Arte	9
2.3 Tecnologias de Rede	13
2.3.1 Protocolo Zigbee	16
3 Especificação da Arquitectura do Sistema	21
3.1 Operação	21
3.2 Arquitectura Conceptual	23
3.2.1 Localizador	25
3.2.2 Abordagem	26
3.2.3 Cliente - Servidor	27
4 Soluções Técnicas	29
4.1 Módulos de Comunicação	29
4.1.1 Tag 802.15.4	29
4.1.2 Ponto de Acesso AP	33
4.2 Ligação à Ethernet	42
4.2.1 Cliente	42
4.2.2 Servidor	43

4.3 Disponibilização da Informação	44
5 Validação e Avaliação do Sistema	47
5.1 Demonstrador	47
5.2 Medições	50
6 Conclusões	55
Bibliografia	57
A Anexos - Protocolo Zigbee	59

Lista de Figuras

2.1	Sistema de Localização Genérico	7
2.2	Received Signal Strength - Exemplo Genérico	10
2.3	Time Difference of Arrival - Exemplo Genérico	10
2.4	Angle of Arrival - Exemplo Genérico	11
2.5	Approximate Point in Triangle - Exemplo Genérico	12
2.6	Logotipos das tecnologias	13
2.7	Débito vs Alcance vs Consumo dos Três Protocolos	14
2.8	Topologia Estrela	18
2.9	Camadas do Protocolo Zigbee	20
3.1	Página Web de Apresentação da Localização	22
3.2	Diagrama do Sistema	23
3.3	Sistema de Localização	25
3.4	Sistema Cliente-Servidor	27
4.1	Modulo Xbee	30
4.2	Envio de Um Byte pela Porta Série [4]	31
4.3	Diagrama de blocos do programa das Tags	32
4.4	Ponto de Acesso - AP [5]	33
4.5	Diagrama de blocos do AP OpenRB405 [5]	34
4.6	Interface de expansão [5]	35
4.7	Estrutura do comando AT [4]	37
4.8	Diagrama de blocos do programa de configuração do modo API	38
4.9	Formato das tramas em modo API [4]	38
4.10	Trama de dados recebidos [4]	39
4.11	Trama de dados enviados [4]	39
4.12	Diagrama de Blocos da Gateway	40
4.13	Diagrama de Blocos do Programa da Gateway	41
4.14	Diagrama de Blocos do Programa do Servidor	43
4.15	Informação Disponibilizada	44
5.1	Estrutura do Sistema	48
5.2	Descrição do Funcionamento do Sistema	49

5.3	Interfaces de Medição	50
5.4	Medição Temporal: Início Transmissão (TAG) e Fim de Recepção (AP) . .	51
5.5	Medição Temporal: Início Transmissão (TAG) e Fim Transmissão (AP) . .	52
5.6	Medição Temporal: Início Transmissão (TAG) e Fim Recepção (TAG) . . .	52
A.1	Topologia Árvore	59
A.2	Topologia Malha	60
A.3	Anexo Camadas do Protocolo Zigbee	61
A.4	Detalhes das Camadas Protocolares Zigbee	63

Lista de Tabelas

2.1	Vantagens vs Desvantagens das Tecnologias	14
2.2	Características das Tecnologias	15
4.1	Ligação entre módulo XBee e AP	41
5.1	Medições Temporais do Sistema	53

Lista de Acrónimos

AP	Access Point
API	Application Programming Interface
APL	Application Layer
APS	Application Support Sublayer
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CCA	Clear Channel Assessment
CF	Compact Flash
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
ED	Energy Detection
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
FFD	Full Function Device
GPIO	General Purpose Input/Output
GPS	Global Positioning System
GTS	Guaranteed Time Slot
I2C	Inter-Integrated Circuit
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial Scientific and Medical

ISO	International Organization for Standardization
LAN	Local Area Network
LQI	Link Quality Indicator
LR-WPAN	Low-Rate Wireless Personal Area Networks
LSB	Least Significant Bit
MAC	Media Access Control
MSB	Most Significant Bit
NTP	Network Time Protocol
NWK	Network layer
O-QPSK	Offset Quadrature Phase-Shift Keying
OSI	Open Systems Interconnection
PAN	Personal Area Network
PCI	Peripheral Component Interconnect
PDA	Personal Digital Assistant
PHY	Physical layer
RF	Radio Frequency
RFD	Reduced Function Device
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTLS	Real Time Location Systems
SAP	Service Access Point
SDRAM	Synchronous Dynamic Random Access Memory
SSH	Secure Shell
TCP	Transmission Control Protocol
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus

WEP	Wired Equivalent Privacy
WPA	Wi-Fi Protected Access
WPAN	Wireless Personal Area Networks
WSN	Wireless Sensor Network
WWW	World Wide Web
ZDO	Zigbee Device Object

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento e Motivação

A evolução da tecnologia está constantemente a moldar a forma de viver de todas as pessoas, e a necessidade de comunicação é dos pontos mais importantes no quotidiano de qualquer um.

No ramo das telecomunicações, a evolução tem sido bastante acentuada.

Actualmente a tecnologia encontra-se num ponto que proporciona às pessoas uma qualidade de vida bastante elevada, que em outros tempos seria inimaginável. A possibilidade de comunicar instantaneamente com alguém do outro lado do globo, tornou-se um bem adquirido o qual já é imprescindível nos tempos de hoje.

No decorrer dos últimos anos tem-se assistido particularmente a uma grande evolução no ramo das comunicações sem fios, que surgem em aplicações nas mais diversas áreas. A ausência de ligações cabladas proporciona uma versatilidade em termos de instalação e de posicionamento dos equipamentos de comunicação e a possibilidade de os utilizadores usufruírem de mobilidade torna evidente as vantagens oferecidas pelas redes sem fios.

Actualmente existem diferentes tecnologias para redes sem fios, cada uma oferecendo diferentes características em termos de taxas de transferência de dados, consumo energético, qualidade de serviço, entre outras.

Com o aparecimento do Wi-Fi, os sistemas computacionais atingiram uma nova fase. Esta tecnologia veio dar um grande contributo, permitindo a comunicação de dados sem o uso de ligações cabladas. Contudo o uso desta tecnologia em aplicações específicas pode não ser uma opção viável, e este facto levou ao desenvolvimento de novas tecnologias, tais como Bluetooth e Zigbee.

O Bluetooth surgiu oferecendo uma alternativa em relação ao Wi-Fi para a comunicação de dados sem fios, e posteriormente o aparecimento da tecnologia Zigbee veio preencher um requisito que em certos dispositivos é crucial, o consumo energético.

Estas tecnologias para além de permitirem a comunicação de dados, ainda podem ser usadas para diferentes aplicações. Uma vez que todas elas permitem mobilidade, estas podem ser usadas para o fim de implementar sistemas de localização.

Os sistemas de localização podem ser aplicados com os mais variados fins. Podem ser utilizados tanto no contexto de segurança, controlo e monitorização, como podem ser usados com o fim de entretenimento ou conforto. As aplicações deste sistema podem ser as mais variadas, apenas dependendo da imaginação criativa dos desenvolvedores. Algumas das aplicações são.

Monitorização em Edifícios - Nas mais variadas empresas ou serviços sociais, como por exemplo hospitais, câmaras municipais e até mesmo prisões, o uso de sistemas de localização podem oferecer uma grande vantagem do ponto de vista administrativo, segurança, gestão de recursos, uma vez que será possível monitorizar qualquer pessoa ou objecto dentro da rede do sistema.

Entretenimento - Por exemplo num museu um visitante pode possuir um dispositivo computadorizado móvel e quando o sistema detectar que este visitante encontra-se numa determinada localização, o dispositivo pode apresentar informação relativamente a esse sítio específico.

Conforto - Numa casa equipada com este sistema seria possível implementar um nível de conforto e acessibilidade que normalmente não se encontrar na maior parte das habitações. Um utilizador poderia andar pela casa e o sistema de localização ao perceber que o utilizador entrou em um determinado compartimento, poderia accionar um sistema automático para ligar/desligar equipamentos electrónicos. Neste contexto o grau de conforto e acessibilidade oferecida pelo sistema a pessoas com mobilidade condicionada seria uma mais-valia.

Outras aplicações podem ser descritas aqui.

Os sistemas de localização necessitam de uma infra-estrutura para possibilitar a localização de dispositivos, tal como no caso do Sistema de Posicionamento Global (GPS) que usa uma rede de satélites em órbita.

Fundamentalmente são necessários dois tipos de dispositivos para que um sistema deste funcione. Um destes dispositivos é o nó móvel que normalmente é denominado por "*tag*", sendo este o componente que vai ser localizado. O outro dispositivo é leitor, este é o equipamento que vai efectuar a localização das *tags*, este dispositivo normalmente encontra-se numa posição fixa.

Neste trabalho pretende-se integrar a um ponto de acesso uma interface de comunicação Zigbee, deste modo aproveitando o facto de este tipo de equipamentos estar amplamente distribuídos e normalmente podem encontrar-se em qualquer casa. Assim para além das funcionalidades habituais oferecidas por este equipamento, também será possível a criação de uma rede alternativa para outro tipo de aplicações.

Aproveitando o facto de estes equipamentos serem um ponto central de comunicação, torna esta opção como sendo de particular interesse, uma vez que possibilita a transição de dados entre diferentes tecnologias de comunicação e deste modo também possibilitando posteriormente o armazenamento e tratamento dos dados.

Inicialmente a integração desta interface de comunicação será com o objectivo de interligar duas tecnologias de comunicação, de modo a fornecer uma ponte de comunicações entre uma rede sem fios Zigbee e uma rede IP. Após ter estabelecido a comunicação entre estas duas redes, será implementado uma pequena aplicação de localização orientada ao compartimento, a qual permite identificar qualquer objecto numa determinada localização.

É na implementação desta ideia que surge este projecto, tendo em conta uma sólida abordagem ao problema, impondo as características desejáveis para o sistema, e a selecção do *hardware* mais apropriado na implementação da solução.

1.2 Objectivos

Este trabalho foca-se no desenvolvimento de um sistema de localização de objectos ou pessoas, e esta localização será orientada ao compartimento, sendo assim pretende-se integrar e desenvolver todo o *hardware* e *software* necessário.

- **Pesquisa e Selecção do Ponto de Acesso** - O ponto de acesso escolhido terá de ir ao encontro de algumas características de modo a satisfazer as necessidades deste projecto. Sendo assim, este ponto de acesso tem de ser modular e *open source*, de modo a permitir flexibilidade na escolha e implementação das soluções.
- **Pesquisa e Selecção do Módulo Zigbee** - O módulo Zigbee tem de satisfazer algumas características, tais como, suportar as necessidades de baixo consumo em redes sem fios, fornecer uma plataforma fiável de transferência de informação entre diferentes módulos, apresentar uma alcance aceitável e ser de fácil utilização.
- **Integração do Módulo Zigbee no Ponto de Acesso** - A integração de ambos os componentes tem de ser efectuada de modo a permitir troca de dados entre estes. A comunicação será efectuada usando um protocolo de comunicação série.
- **Comunicação entre redes Zigbee e IP** - O desenvolvimento deste sistema será feito com o objectivo de capacitar um ponto de acesso com uma funcionalidade que permite a comunicação de dados entre as duas redes (Zigbee e IP). Todo o desenvolvimento deste sistema será efectuado usando a linguagem de programação C.

- **Plataforma Aplicável a Sistemas de Localização** - A plataforma que vai ser desenvolvida tem de ser capaz de suportar um sistema de localização.

Para prova do conceito, será desenvolvido um simples sistema de localização orientada ao compartimento. O facto de a localização ser orientada ao compartimento simplifica a escolha do mecanismo a ser usado, evitando desta forma um mecanismo exaustivo, complexo. Sendo assim, será implementado um sistema que se baseia num parâmetro de comunicação em sistemas de rádio frequência, o qual indica a potência de um sinal de rádio recebido no ponto de acesso.

- **Apresentação de Resultados** - A disponibilização da informação ao utilizador será efectuada através de uma página *web*. Esta implementação é simples e abrangente, uma vez que não será necessária a instalação de qualquer tipo de *software* no computador do utilizador, tendo em conta que qualquer computador pessoal possui por defeito um *web browser*.

1.3 Contribuições

As principais contribuições desta dissertação consistem na concepção de um sistema de comunicação entre uma rede sem fios e uma rede IP e um sistema de localização orientada ao compartimento. Os métodos propostos serão descritos em detalhe nos capítulos posteriores, onde pode ver-se de que forma pretende-se alcançar os objectivos mencionados anteriormente.

Sistema de Comunicação Entre uma Rede Wireless e uma Rede IP

O desenvolvimento de um sistema capaz de oferecer a transmissão de dados entre uma *Low-Rate Wireless Personal Area Network*, esta uma rede Zigbee, e uma rede IP, possibilita o desenvolvimento de várias aplicações que corram sobre esta ponte de comunicações. Este sistema será de total transparência para o utilizador, de modo a fornecer uma aplicabilidade facilitada.

Sistema de Localização Baseado em Rádio Frequência

Foi desenvolvido um sistema de localização capaz de estimar a posição de um dispositivo que esteja devidamente identificado com uma *tag* pré-programada de modo a ser individual, sem a necessidade de intervenção por parte de qualquer utilizador. Também não existe qualquer participação do usuário no processo. Assim, alguém que esteja utilizando um dispositivo móvel identificado não necessita de configurar ou realizar qualquer acção para saber sua posição dentro do ambiente monitorizado.

1.4 Organização da Dissertação

Esta dissertação está seccionada em seis capítulos.

- **Capítulo 1 - Introdução** - O primeiro capítulo foca-se na introdução ao trabalho que será realizado, fornecendo ao leitor uma visão resumida deste, bem como as motivações e objectivos. Também são declaradas as contribuições que se pretendem atingir na elaboração deste trabalho.
- **Capítulo 2 - Localização Baseada em RF** - O capítulo que se segue destina-se a dar ao leitor uma pequena introdução ao assunto, dando uma visão geral do tipo de sistema que será estudado e o estado da arte neste campo. Também será efectuado um estudo sobre as tecnologias que podem ser usadas para fazer localização baseada em rádio frequência, e será feita uma comparação entre estas. Depois disto, será feito um estudo mais aprofundado da tecnologia que vai ser usada neste trabalho, esta secção contendo os diferentes aspectos desde características, detalhes técnicos até à arquitectura protocolar desta tecnologia, entre outro tipo de aspectos.
- **Capítulo 3 - Especificação da Arquitectura do Sistema** - Neste capítulo será feita uma descrição da arquitectura do sistema, com o objectivo de fornecer uma noção mais generalizada de todo o sistema. Este capítulo contém uma secção que está destinada a esclarecer o funcionamento do sistema do ponto de vista do utilizador, com uma descrição das interfaces de operação. Numa outra secção será descrita a arquitectura conceptual do sistema com uma breve descrição de todos os módulos constituintes deste.
- **Capítulo 4 - Soluções Técnicas** - Este capítulo foca-se nas soluções técnicas encontradas para a resolução do problema proposto, com uma descrição mais pormenorizada dos módulos de comunicação. Numa primeira secção deste capítulo será feita a descrição dos componentes móveis do sistema, será também feita uma descrição do modo de funcionamento destes. Na seguinte secção será descrito o funcionamento do ponto de acesso, o qual integra a *gateway* entre os dois protocolos de comunicação que se pretendem interligar. Também será descrito o paradigma cliente-servidor aplicado aos pontos de acesso. Na última secção será descrito o funcionamento do sistema para a disponibilização da informação, esta secção tem a descrição do funcionamento do sistema ao nível das interfaces de apresentação e dos dados usados.
- **Capítulo 5 - Validação e Avaliação do Sistema** - Neste capítulo será feita a validação do sistema. Numa primeira secção será feita a introdução ao demonstrador e uma explicação do funcionamento deste sistema. Na secção que se segue será mostrado os resultados de medições que se obtiveram durante o funcionamento do sistema, com apresentação de algumas características temporais durante a transmissão de dados.

- **Capítulo 6 - Conclusões** - No sexto e último capítulo serão apresentadas as conclusões deste trabalho. Será feita uma avaliação crítica ao funcionamento do sistema, e será feita uma reflexão sobre possíveis evoluções futuras no âmbito deste projecto.

Capítulo 2

Localização Baseada em RF

2.1 Princípio Genérico

Um sistema de localização baseada em rádio frequência é utilizado para determinar a posição de qualquer objecto ou pessoa, usando um dispositivo denominado por *tag* que está associado ou embutido nestes. Estes dispositivos têm de necessariamente usar comunicação sem fios para permitir total mobilidade ao mesmo tempo que permite ser localizado.

Outro dos componentes deste sistema é o leitor, o dispositivo que proporciona a identificação de qualquer *tag* que esteja na sua área de cobertura. Este dispositivo como normalmente encontra-se numa posição fixa, a localização é efectuada de acordo com esta posição, sendo que quando uma *tag* encontra-se nas imediações de um leitor e for localizada, a posição é determinada com base na posição do leitor, uma vez que o sistema sabe a localização específica de todos os leitores.

Na figura 2.1 pode-se ver o princípio genérico do funcionamento de um sistema de localização.

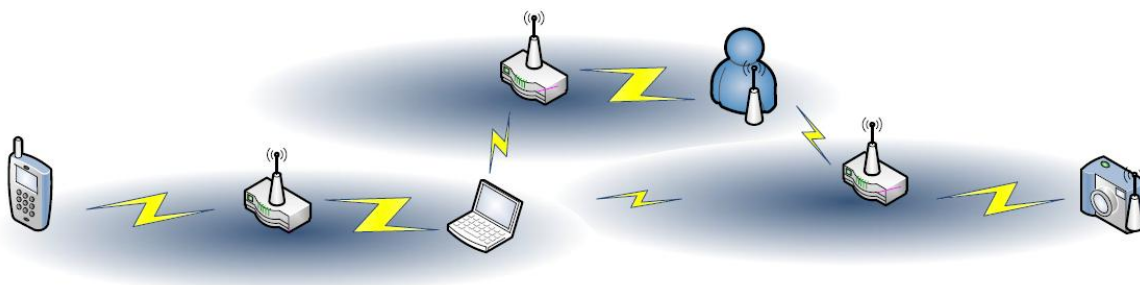


Figura 2.1: Sistema de Localização Genérico

Na figura 2.1 está representado um sistema de localização com três leitores e um conjunto de objectos que aos quais estão associados *tags*, desta forma permitindo a localização

destes.

Os objectos como são móveis, podem ser localizados por diferentes leitores, sendo que estes leitores encontram-se em locais diferentes deste modo determinando a localização dos objectos. E em certos casos, algum dos objectos pode ser localizado por mais que um leitor e nestes casos recorre-se a um método que decide de qual leitor o objecto está mais próximo.

Posteriormente toda a informação é recolhida para um servidor central, o qual processa e determina a posição dos objectos e ainda apresenta os resultados para visualização.

Sistemas Implementados

Um sistema de localização que já se encontra implementado é o " *The Cricket Indoor Location System*", é um sistema orientado para a investigação desenvolvido por investigadores do *Massachusetts Institute Of Technology* e pode ser consultado na seguinte referência [15]. Este é um sistema de localização orientada ao compartimento, o qual fornece uma solução de baixo custo para a localização de objectos ou pessoas. Este é constituído por uma rede de leitores os quais providenciam a localização dos dispositivos móveis.

A Awarepoint, *Real-Time Awareness Solutions*, é uma entidade que desenvolveu um sistema de localização exclusivamente dedicado para o ramo da saúde, e como tal, este sistema é orientado para o uso comercial. Este sistema está implementado com a tecnologia usada neste trabalho, deste modo pode-se ver que esta tecnologia é uma opção viável para implementação da ideia.

Outro exemplo de um sistema de localização que pode ser referenciado é o "Ekahau RTLS" desenvolvido pela Ekahau, também este foi desenvolvido com o fim para uso comercial. Este sistema implementa uma solução que se baseia nas redes sem fios Wi-Fi, e oferece diferentes graus de granularidade, podendo localizar objectos dentro de um compartimento, ao nível do compartimento, ao nível de um andar ou ao nível de um edifício. A vantagem deste sistema está no uso da infra-estrutura já existente, no caso de um edifício já possuir uma rede Wi-Fi, deste modo não necessitando da instalação de equipamentos de leitura.

Estas referências fornecem um fundamento à ideia que vai ser desenvolvida neste trabalho, uma vez que o sistema de localização que se vai desenvolver terá os mesmos conceitos básicos.

O trabalho que se vai desenvolver vai tirar proveito destes três exemplos tentando arranjar uma solução que incorpora as vantagens de cada um deles. O uso de uma tecnologia referenciada no caso da Awarepoint, juntamente com o facto de poder usar uma infra-estrutura já instalada como no caso da Ekahau RTLS e consequentemente poder usar a rede Wi-Fi, e ainda adoptando o método usado no caso de The Cricket Indoor Location System, torna evidente as vantagens no desenvolvimento deste trabalho.

2.2 Estado da Arte

Vários protocolos de localização baseada em rádio frequência têm sido desenvolvidos nos últimos anos, muitos deles impulsionados para investigação com o fim para o uso militar, mas alguns destes protocolos também estão a ser implementados em ambientes civis.

Neste capítulo são referenciados alguns estudos feitos nesta área. Serão ainda apresentadas aplicações para as diferentes classes de sistemas, os quais implementam diferentes protocolos de localização, onde será efectuada uma análise de destes.

Todos os algoritmos de localização podem ser classificados em duas classes principais, com a determinação da localização dependendo ou não da distância entres os módulos do sistema. O princípio funcional do sistema assenta na determinação de uma estimativa da distância entre os nós móveis e um ou mais pontos fixos. Os diferentes métodos usados na determinação da distância são os seguintes.

Métodos Baseados em Alcance

Received Signal Strength - Este método baseia-se na energia do sinal de rádio recebido. O valor deste parâmetro depende da distância, sendo inversamente proporcional a esta, ou seja, o valor da energia do sinal recebido diminui com o aumento da distância. Este parâmetro pode ser equacionado da seguinte forma.

$$Pr = Pe * (\frac{\lambda}{4 * \pi * d})^2 \quad (2.1)$$

Esta equação relaciona a potência de um sinal recebido como sendo uma fracção do sinal emitido, e dependendo do comprimento de onda do sinal e da distância. Esta equação apenas se aplica em espaço livre, com condições ideais, não sendo aplicável em ambientes mais complexos ou fechados.

Com este método é possível estimar a localização usando esquemas de mapeamento que possuem toda a informação relativamente aos níveis do sinal recebido num determinado local, este método é conhecido como "*Location Fingerprinting*" ou "*Site Profiling*".



Figura 2.2: Received Signal Strength - Exemplo Genérico

Na figura 2.2 pode-se ver uma ilustração do princípio que serve de fundamento ao método apresentado. Pode-se ver que conforme a distância da *tag* ao leitor, a potência do sinal recebido por parte do leitor diminui com o aumento da distância.

Time Difference of Arrival - Num ambiente coerente a velocidade de propagação de um sinal rádio é constante, e sendo assim é possível determinar uma localização medindo o tempo que um dado sinal de rádio demora a chegar aos diferentes receptores.

Esta técnica tem uma contrapartida, uma vez que necessita de equipamento bastante sofisticado, isto porque um sinal de rádio propaga-se sensivelmente à velocidade da luz, e como tal os medidores do tempo têm de ser de alta resolução e ainda todo o sistema tem que estar sincronizado com precisão. Em ambientes fechados ainda se encontram os problemas de multi-percurso e de pequenas distâncias, os quais degradam significativamente os resultados obtidos no sistema.

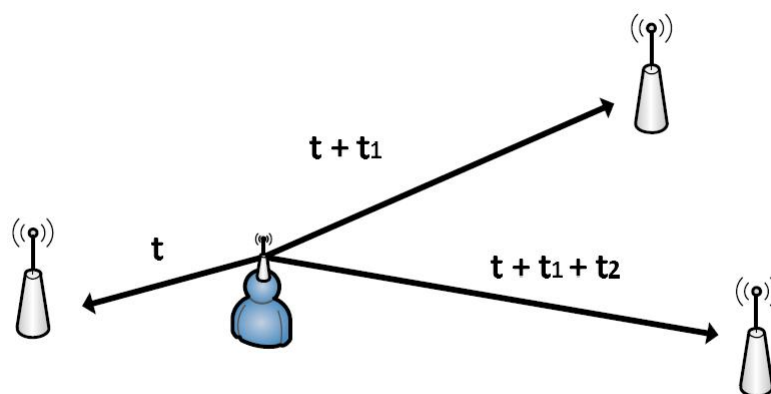


Figura 2.3: Time Difference of Arrival - Exemplo Genérico

Na figura 2.3 pode-se ver um exemplo no qual um sinal emitido por uma *tag* demora um determinado tempo a atingir cada um dos leitores. Consoante a diferença entre os tempos recebidos em cada um dos leitores é possível estimar a localização da *tag* emissora do sinal.

Angle of Arrival - Este método baseia-se na direcção de chegada de um sinal, e necessita pelo menos de dois pontos de medição fixos.

Com o uso de antenas direccionais ou uma estrutura com várias antenas, é medido o ângulo relativamente a diferentes pontos, e com a intercepção entre ponteiros direccionados a partir dos ângulos de chegada fornece a localização.

A precisão desta abordagem é limitada pela capacidade de medição angular das antenas, por atenuações impostas pelo meio ambiente e por reflexões que atingem as antenas em direcções diferentes.

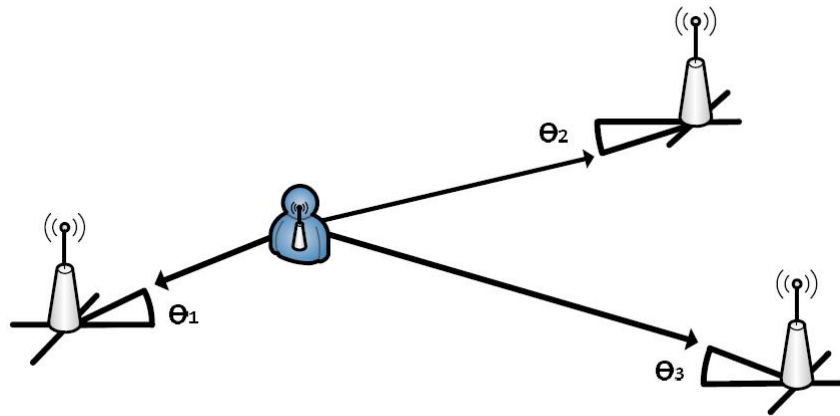


Figura 2.4: Angle of Arrival - Exemplo Genérico

A figura 2.4 representa um exemplo genérico do funcionamento do método apresentado. Nesta figura pode-se ver que a estimativa da posição depende do ângulo de chegada do sinal proveniente da *tag*. Cada um dos leitores percebe qual é a direcção do sinal recebido, e assim é possível determinar a posição de *tag* encontrando o ponto de intercepção de ambas as direcções.

Métodos Independentes do Alcance

Os seguintes métodos não usam uma estimativa da distância para determinar a localização de qualquer nó móvel. Então para determinar a localização estes métodos usam a informação de conectividade e escutam o meio para estimar uma posição.

Approximate Point in Triangle - A ideia deste método é dividir o ambiente em triângulos a partir de nós fixos. A presença ou não de um nó móvel em cada um dos triângulos permite ao sistema reduzir iterativamente a localização do nó, este processo é efectuada até que todos os possíveis conjuntos triângulos estejam esgotados ou até atingir a precisão desejada.

Esta solução usa de facto a potência do sinal recebido mais não para determinar uma distância, usa-o assumindo que a força do sinal diminui gradualmente com o aumento da distância.

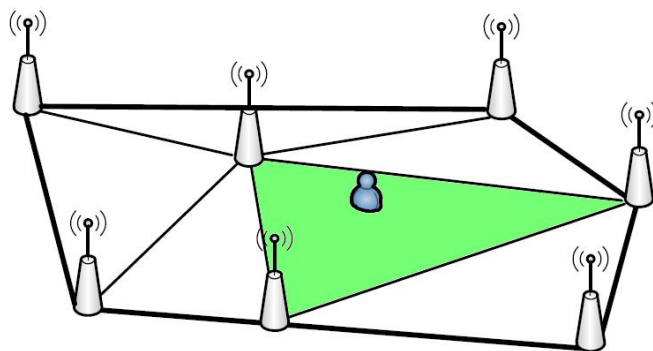


Figura 2.5: Approximate Point in Triangle - Exemplo Genérico

Pode-se ver na figura 2.5 a divisão do terreno em triângulos, deste modo podendo com base nesta divisão estimar uma localização aproximada de uma *tag* dentro de cada um dos triângulos. A precisão do posicionamento pode ser melhorado aumentando o nível de divisão do terreno.

Multi Dimensional Scaling - Numa rede ampla este método apenas usa a informação de conectividade, uma vez que determina quais os nós móveis que se encontram entre determinados nós fixos da rede. Este método constrói uma matriz de conectividade simétrica, a qual determina a localização através de um algoritmo que encontra o caminho mais próximo e esta matriz fornece a localização relativa de cada um dos nós.

Outros métodos de localização que assentam em tecnologias diferentes também podem ser usadas neste caso de estudo, estas sendo métodos que se baseiam em ultra-sons e radiação infra-vermelha, mas estas como fogem ao contexto deste trabalho não serão abordadas neste documento.

2.3 Tecnologias de Rede

O desenvolvimento na área das redes sem fios contribuiu para o aparecimento de diferentes tecnologias e vários protocolos de comunicação.

Inicialmente o objectivo no desenvolvimento destas tecnologias era focado na transmissão de dados e de voz, deste modo impondo elevados débitos de dados, e com isto os equipamentos começaram por tornar-se complexos e os preços destes disparavam com o aumento desta complexidade, o que tornava o uso destes em aplicações mais simples em termos de transferência de dados uma opção não satisfatória.

Só depois do aparecimento de protocolos de alto e médio débito, respectivamente o Wi-Fi e o Bluetooth, começou a aparecer a pensar em desenvolver um protocolo que respondesse às necessidades específicas de sistemas com menos exigências em termo de transmissão de dados, como por exemplo sensores, actuadores e dispositivos de controlo. Foi com base nestas necessidades que surgiu o Zigbee.



Figura 2.6: Logotipos das tecnologias

Em ambientes industriais as necessidades de redes de transmissão de dados são bastante diferentes relativamente a redes empresariais e pessoais, uma vez que neste ambiente os dados transmitidos podem ser de vários dispositivos, tais como sensores de temperatura, pressão, humidade, relés, actuadores, etc., e sendo estes significativamente importantes é necessário privilegiar face ao alto débito, uma latência reduzida uma fiabilidade alta e um consumo energético baixo de modo a preservar a vida útil das baterias.

Face a estas exigências o IEEE criou um subgrupo que foca-se no desenvolvimento de normas para *Low Rate Wireless Personal Area Network*, o qual desenvolve normas que respeitam baixo débito, baixa complexidade, e baixo consumo energético, esta norma é designada por IEEE 802.15.4.

Comparação entre as tecnologias

Nesta secção será efectuada uma comparação entre estas três tecnologias, evidenciando as suas vantagens e desvantagens e fazendo uma análise crítica entre estas.

Protocolo	Consumo	Vantagens	Aplicações
Wi-Fi (IEEE802.11b/g)	Alto	Elevado débito	Transferência de dados Internet
Bluetooth (IEEE802.15.1)	Médio	Interoperabilidade	Telemóveis, PDA's Periféricos de PC's
Zigbee (IEEE802.15.4)	Baixo	Consumo, Latência Fiabilidade	Sensores, Controladores Aplicações específicas

Tabela 2.1: Vantagens vs Desvantagens das Tecnologias

Na tabela 2.1 pode-se ver, de uma forma sumariada, em que diferem algumas características das diferentes tecnologias em estudo.

Pode-se ver que no caso do Wi-Fi, baseado na norma IEEE 802.11b/g, é um protocolo para aplicações que requerem elevado débito. Deste modo tornando maior a exigência a nível energético e a nível do *hardware*.

Devido ao consumo de energia no caso do Bluetooth, os dispositivos que usam esta tecnologia necessitam de uma recarga de baterias frequentemente, estas podendo durar alguns dias ou em certos casos apenas horas. Em relação ao Zigbee, como este foi desenhado de modo a ser energeticamente eficiente, a duração de carga de uma bateria num sistema destes pode durar meses ou até mesmo anos.

Na figura 2.7 pode ver-se de uma forma clara a relação entre o débito o alcance e o consumo energético de cada uma das tecnologias.

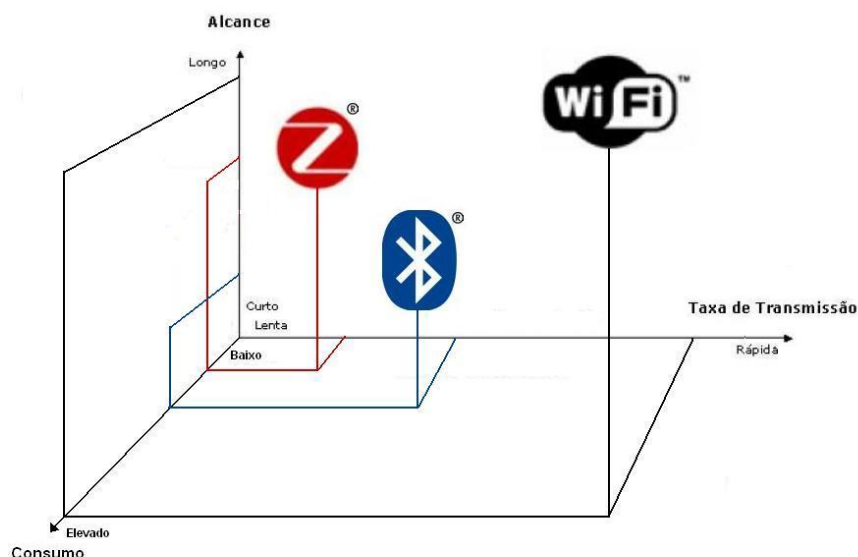


Figura 2.7: Débito vs Alcance vs Consumo dos Três Protocolos

Por outro lado pode ver-se que tanto o Zigbee como o Bluetooth apresentam débitos muito baixos, alcances mais reduzidos e consumos energéticos inferiores em relação ao Wi-Fi, deste modo não se pode dizer que estas tecnologias são concorrentes entre si, uma vez que cada uma delas foi pensada para desempenhar funções diferentes.

Com esta análise pode-se ver que algumas das características do Zigbee e do Bluetooth não diferem muito uma das outras, deste modo ambas as tecnologias merecem uma análise mais detalhada de cada uma delas.

Para além dos aspectos já analisados, tais como o débito e o consumo energético, em termos da distância, pode-se dizer que o protocolo Zigbee apresenta um maior alcance em relação ao Bluetooth. Para além disto, numa rede Zigbee pode haver um grande número de dispositivos enquanto numa rede Bluetooth só será possível conectar até oito dispositivos. Sendo assim nestes dois aspectos referidos o protocolo Zigbee tem vantagem. Em termos de latência, o protocolo Zigbee foi desenhado de modo a responder rapidamente a pedidos, enquanto o Bluetooth demora uma quantidade de tempo significativa em comparação, deste modo não sendo aplicável a dispositivos que são fortemente dependentes de tempos de resposta.

Após análise sumariada destes três protocolos, irá passar-se a um estudo mais aprofundado do protocolo Zigbee.

Características

Na tabela 2.2 pode-se ver de uma maneira resumida algumas características técnicas dos três protocolos estudados. Com esta análise pode-se, para além da análise qualitativa anteriormente descrita, ter uma noção quantitativa de algumas das características destes protocolos.

	Wi-Fi	Bluetooth	Zigbee
Norma	IEEE 802.11b/g	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Taxa de Transmissão	54Mbps	1Mbps	250Kbps
Alcance	100m	10m	75m
Eficiência Energética	Baixa	Média	Alta
Dimensão da Rede	N/A	8 nós	65535 nós
Latência	Alta	Alta	Baixa
Topologias da Rede	Estrela	Estrela	Estrela/Árvore/Malha

Tabela 2.2: Características das Tecnologias

2.3.1 Protocolo Zigbee

Com o objectivo de satisfazer a crescente exigência por parte de sociedade em relação à tecnologia de comunicação, esta área tem sofrido uma evolução muito elevada nos últimos anos. As várias diversificações por parte destas exigências impulsionaram o desenvolvimento de diferentes tecnologias, sendo que uma delas é o protocolo Zigbee.

Anteriormente a este protocolo não existia no mercado nenhuma norma de redes sem fios que se focava mais noutros aspectos da comunicação em vez de se focar nas taxas de transmissão de dados. O aparecimento deste protocolo levou a um novo nível a monitorização e o controlo, e com isto estabeleceu-se um novo conceito face às Wireless Sensor Networks.

Ao contrário das outras tecnologias vistas na secção anterior, o protocolo Zigbee pretende estabelecer uma alternativa de comunicação sem fios, melhorando aspectos que antes não tinham sido alvo de atenção, tanto o consumo energético como a elevada fiabilidade.

Por outro lado uma vantagem no surgimento deste protocolo é o facto de ser uma norma que possibilita uniformizar o desenvolvimento de dispositivos e aplicações, deste modo facilitando o abandono de sistemas proprietários e proporcionando interoperabilidade.

Este protocolo possui uma grande área de aplicação, desde monitorização e controlo em ambientes industriais bem como em ambientes residenciais (Domótica).

Este protocolo possui então uma vasta gama de características distintas dos restantes protocolos, como por exemplo:

- Consumo energético
- Elevada fiabilidade
- Alcance na ordem das dezenas de metros
- Taxas de transferência até 250Kbps
- Baixa latência
- Baixo custo
- Pilha protocolar simplificada
- Rede com elevado número de dispositivos (até 65535)
- Diferentes topologias de rede:
 - Estrela (*Star*)
 - Árvore (*Cluster Tree*)

- Malha (*Mesh*)
- Dois modos de operação
 - *Beaconing*
 - *Non-Beaconing*
- Elevada segurança
- Duas classes de dispositivos físicos:
 - *Full Function Device* (FFD)
 - *Reduced Function Device* (RFD)
- Três tipos de dispositivos lógicos:
 - *Coordinator*
 - *Router*
 - *Endpoint*

Dispositivos

A norma IEEE 802.15.4 define diferentes tipos de dispositivos para uma rede sem fios Zigbee. Como já foram referidos anteriormente, em termos de dispositivos físicos encontra-se os *Full Function Device* e os *Reduced Function Device*.

Dentro dos dispositivos físicos, ainda distinguem-se três tipos de dispositivos lógicos, estes são os que constituem a topologia da rede.

- **Coordinator** - Este dispositivo é definido como um FFD, e as tarefas ao qual este está encarregue são as seguintes: construção da rede, atribuição de endereços, controlo da rede, guarda a informação sobre cada dispositivo na rede, reencaminha informação e tipicamente o seu funcionamento é em modo de recepção. Existe apenas um por rede.
- **Router** - Este dispositivo, definido como um FFD, principalmente destina-se a encaminhar informação entre dispositivos e deste modo possibilita o aumento de uma rede, sem este não seria possível estender a rede de modo a ter vários níveis de conectividade.

- **End Point** - Estes dispositivos podem ser tanto FFD como RFD, sendo que quando é um FFD este dispositivo pode-se tornar um *router* caso um outro dispositivo se ligue a este. A função principal deste dispositivo é controlar ou monitorizar uma aplicação específica, tal como actuadores ou sensores.

No caso de ser um RFD, estes são desenhados tendo em conta a simplicidade, com comunicações e requisitos de recursos reduzidos, de modo a fornecer uma alta eficiência energética. Este tipo de dispositivo está limitado a conectar-se a dispositivos tais como *router* ou coordenador, nunca podendo exercer a função destes.

Topologias da rede

Como já se referenciou atrás este protocolo suporta três topologias de rede, as quais são em estrela, árvore ou malha.

Neste protocolo aquando a fase de construção da rede sem fios, se não for devidamente configurado, este não assume uma topologia predeterminada. No início da construção da rede, o primeiro dispositivo coordenador a ligar-se assume o controlo da rede, e qualquer outro dispositivo que poderia assumir o encargo de coordenador fica como simplesmente membro da rede.

Na seguinte secção irá ser apresentada topologia de rede que será usada no decorrer do trabalho em causa, com uma breve descrição e uma ilustração da mesma. As outras topologias de rede estão descritas em anexo.

Estrela (*Star*)

Nesta topologia todo o tráfego da rede passa pelo coordenador da rede, uma vez que este assume um ponto central desta rede, deste modo assumindo todo o fluxo de dados entre dispositivos. Todos os dispositivos integrantes da rede estão ligados ao coordenador, não estando ligados entre si. Cabe ao coordenador iniciar e manter as características da rede.

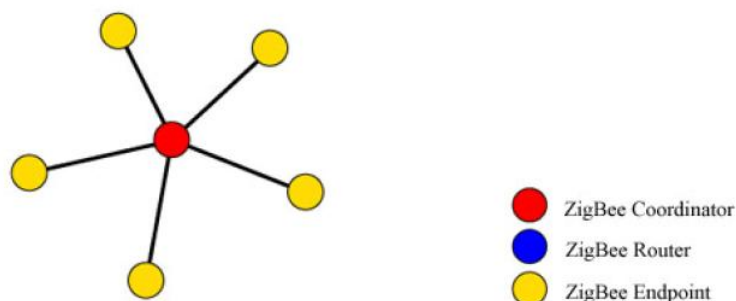


Figura 2.8: Topologia Estrela

Modos de Operação

Numa rede Zigbee há dois modos de operação.

- **Modo Beacon** - Um dos modos é o *beaconing*, neste modo os *routers* transmitem periodicamente uma sinalização ou *beacon*, de modo a confirmar a sua presença aos outros dispositivos da rede, neste modo os dispositivos que escutam o *beacon*, apenas tem de estar activos no momento da transmissão deste. Deste modo é possível manter os dispositivos no modo suspenso entre as sinalizações do *beacon*, aumentando ainda mais a eficiência energética deste dispositivo.

O intervalo entre cada sinalização pode variar entre alguns mili-segundos (aproximadamente 15ms) até aproximadamente 250s, isto para um dispositivos operando a uma taxa de transmissão de 250Kbps. Em contrapartida, um grande espaçamento temporal entre beacons requer uma temporização de elevada precisão, e deste modo torna o dispositivo mais complexo o que muitas vezes não é opção.

- **Modo Non-Beaconing** - Neste modo os dispositivos estão constantemente à escuta, mantendo os seus receptores permanentemente activos, sendo assim este modo apresenta uma pior eficiência energética comparativamente ao outro modo.

Neste trabalho o modo de operação que se vai usar é o modo *Non-Beaconing*, uma vez que se pretende ter um dispositivo constantemente à escuta para poder localizar uma *tag* a qualquer momento.

Detalhes Técnicos

Este protocolo opera em três bandas de frequências isentas de licenciamento, uma vez que trabalha dentro das bandas ISM.

A principal banda de frequência correspondente à banda de 2.4GHz é a mais comercializada, as outras duas banda situam-se nos 915MHz para os Estados Unidos e 868MHz para a Europa.

A taxa de transmissão de dados está directamente relacionada com a frequência de operação dos dispositivos, sendo que para a banda de 2.4GHz pode ser obtida uma taxa de transmissão de 250Kbps com 16 canais disponíveis, para a banda de 915MHz a taxa de transmissão é apenas de 40Kbps com 10 canais e no caso da banda de 868MHz apenas atinge uma taxa de transmissão de 20Kbps com apenas 1 canal de comunicação.

A modulação utilizada na comunicação rádio é *Offset Quadrature Phaseshift Keying* (O-QPSK) para a banda dos 2.4Ghz e *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) para os 915 ou 868Mhz.

Arquitetura Protocolar ZigBee / IEEE 802.15.4

A arquitetura do protocolo Zigbee é constituída por diversas camadas, sendo que cada camada realiza um conjunto específico de serviços para a camada acima.

Há duas entidades que providenciam a comunicação entre cada camada e as camadas adjacentes a esta, uma das entidades é a que fornece um serviço de transmissão de dados, a outra fornece a gestão de todos os outros serviços. Cada entidade expõem uma interface para a camada acima através de um Serviço de Ponto de Acesso (SAP) e cada SAP dispõe de um número de primitivas de modo a garantir a funcionalidade necessária.

Este modelo de protocolo baseia-se no modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) de sete camadas, mas no entanto a arquitetura protocolar ZigBee apenas define três camadas, a camada física (PHY), a camada MAC e a camada de rede (NWK), sendo que a camada da aplicação está à responsabilidade do utilizador.

Pode-se ver uma ilustração das diferentes camadas na figura 2.9.

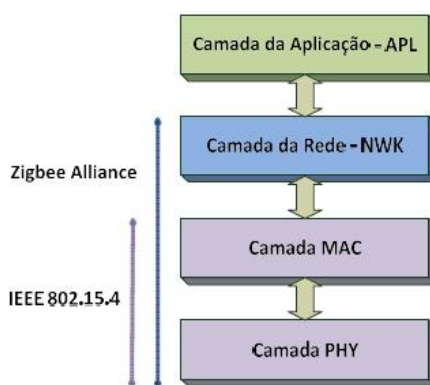


Figura 2.9: Camadas do Protocolo Zigbee

As duas camadas de nível mais inferior a camada física e de acesso ao meio, são definidas pela norma IEEE 802.15.4. A camada imediatamente acima, camada de rede, é definida pela Zigbee Alliance, podendo variar entre cada um dos integrantes desta aliança.

Especificações sobre cada uma das camadas deste protocolo podem ser consultadas em anexo.

Capítulo 3

Especificação da Arquitectura do Sistema

Este capítulo destina-se a apresentar uma visão global do projecto desenvolvido. O sistema de localização é apresentado, incluindo uma definição dos seus componentes e de que forma estes interagem entre si.

A secção de Operação começa por mostrar e explicar quais são as interfaces para o utilizador final. Na secção de Arquitectura Conceptual será apresentado o sistema e será descrito o seu funcionamento, a sua implementação e configuração.

3.1 Operação

Nesta secção será apresentado o sistema do ponto de vista de um utilizador.

Serão apresentadas todas as interfaces para os utilizadores, mostrando os aspectos da apresentação dos resultados do sistema de localização de objectos móveis dentro de uma determinada área.

Interface Web para o Utilizador

No âmbito do sistema de localização, tomou-se a opção de apresentar os resultados do funcionamento do sistema através de uma interface *web*, deste modo todo o processo de disponibilização de informação será fortemente facilitado, e com isto também será respeitado um dos objectivos gerais de todo este projecto, uma vez que o desenvolvimento de um sistema de fácil utilização seria um dos principais aspectos a ter em conta.

Na seguinte figura 3.1 está representada a página *web* na qual os utilizadores podem ver os resultados do sistema de localização.

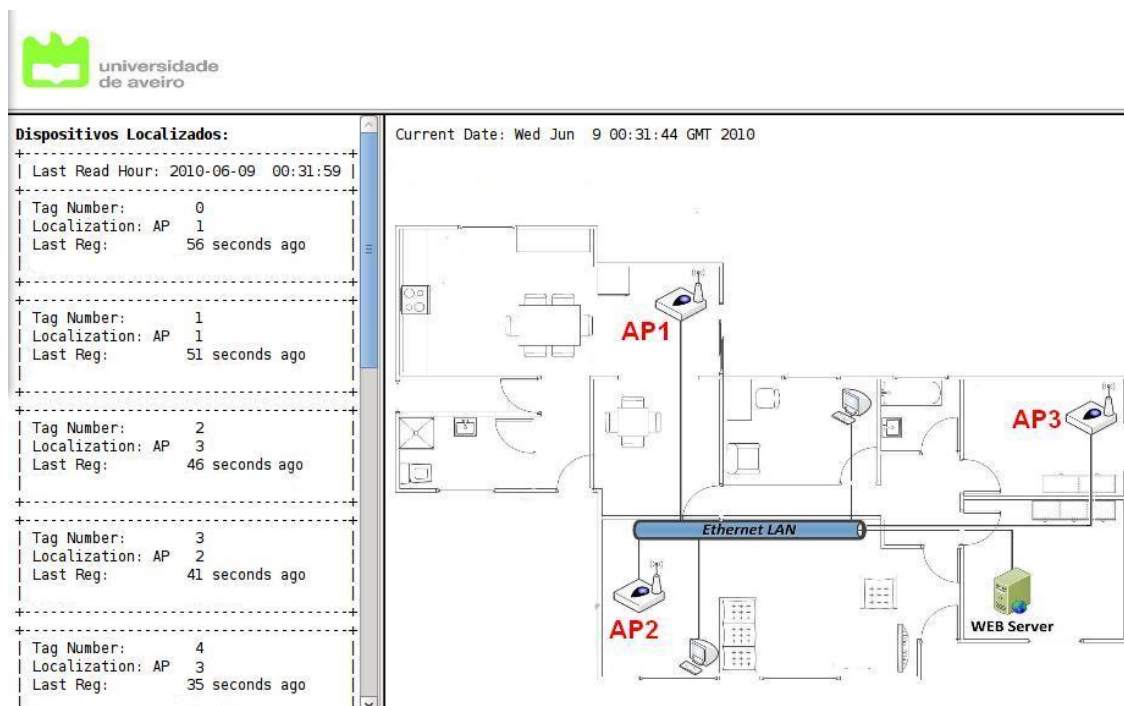


Figura 3.1: Página Web de Apresentação da Localização

Na figura anterior pode-se ver a apresentação dos resultados do sistema, e pode-se reparar na representação de uma planta de uma casa em que cada compartimento está devidamente identificado. A informação da localização de um objecto ou de uma pessoa está apresentada do lado esquerdo.

A identificação de cada compartimento está associada a um ponto de acesso que localiza os objectos ou as pessoas em causa, ou seja, em cada um destes compartimentos está a ser monitorizado pelo sistema.

A informação de cada um dos dispositivos móveis que está apresentada, indica um conjunto essencial de dados para efectuar uma localização com alguma precisão. Um destes dados obviamente está associado à individualização de cada um dos objectos, indicando a quem está associada o dispositivo móvel de localização (*tag*). Os outros dados apresentados constituem os fundamentos dos sistemas de localização, uma vez que para localizar qualquer coisa é preciso sempre informação espacial e temporal. É apresentada a localização do dispositivo móvel indicando em que compartimento este se encontra e quando é que este esteve lá.

Com a implementação desta solução a utilização deste sistema torna-se consideravelmente facilitado. O facto de não necessitar de instalação de *software* especializado revela-se como uma vantagem no âmbito deste projecto. Uma vez que a apresentação dos resultados é efectuada numa página *web*, aproveita-se o facto de os *web browsers* estarem globalmente presentes em qualquer computador pessoal.

3.2 Arquitectura Conceptual

O desenvolvimento deste projecto baseou-se em alguns princípios que teriam de ser atingidos ao mesmo tempo que se implementava o sistema e que numa segunda fase fosse possível implementar uma aplicação específica sendo esta aplicação um sistema de localização de objectos.

Então o sistema foi desenvolvido tendo em conta os seguintes princípios:

- Facilidade de implementação da solução
- Custos reduzidos
- Desenvolvimento de um sistema de fácil utilização

Tendo em conta todos estes princípios, o desenvolvimento do sistema foi efectuado seleccionando cuidadosamente todos os equipamentos necessários e desenvolvendo o respectivo *software* de modo a respeitar todos estes princípios.

A figura 3.2 mostra um diagrama geral do sistema.

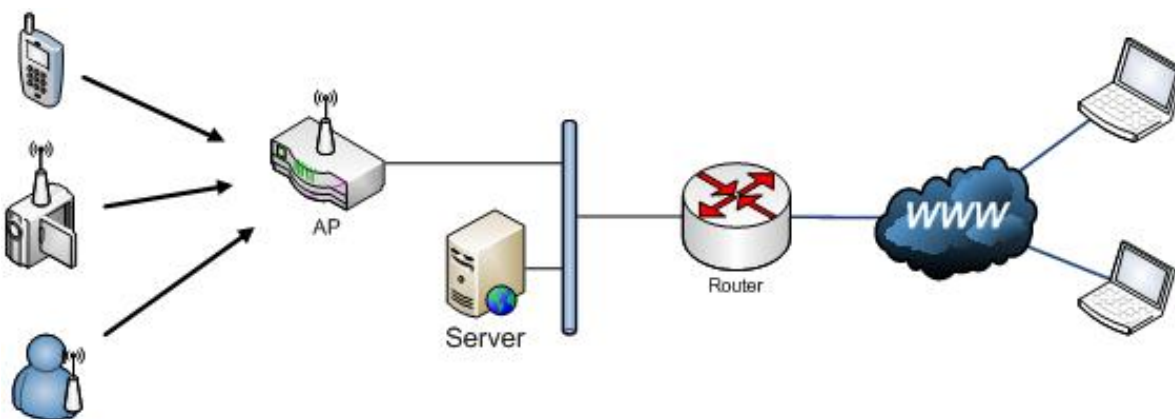


Figura 3.2: Diagrama do Sistema

Na figura 3.2 pode-se ver que o sistema de comunicação de informação está dividido em diferentes etapas. Todos os componentes integrantes deste sistema interagem entre si de modo a possibilitar uma estrutura de comunicação.

Estes componentes e a forma como interagem podem variar de acordo com o tipo de abordagem e o tipo de aplicações que se pretende utilizar. As características dos componentes e a forma como interagem entre si são cruciais para implementar o sistema de acordo com os objectivos.

Na figura pode-se ver uma visão geral do sistema e o seu funcionamento pode ser descrito em três etapas. Numa primeira etapa um dispositivo móvel qualquer, tal como um telemóvel, um PDA, um computador ou até mesmo uma pessoa que transporta um transmissor que envia informação para um ponto de acesso, na figura denominado AP. Numa segunda etapa esta informação passa para uma rede IP, a qual posteriormente pode ser guardada num servidor. Na terceira etapa, a informação é disponibilizada para a Internet através de serviços *web* ou através de um serviço especializado, isto dependendo da vontade do utilizador em como utilizar esta informação.

3.2.1 Localizador

Numa segunda fase foi implementado sobre o sistema de comunicação entre as duas redes um sistema de localização de dispositivos móveis.

Este sistema tem como objectivo localizar objectos ou pessoas, e para isso é necessário que cada objecto possua uma interface de comunicação sem fios.

A localização destes objectos requer a comunicação com um ponto de acesso, este por sua vez identifica se cada um dos objectos está na proximidade para decidir se está no mesmo compartimento ou não, e de seguida envia essa informação para a rede IP. Toda a informação relevante pode ser guardada num servidor, o qual numa fase posterior disponibiliza esta informação para a Internet, de modo a que um utilizador remoto possa consultar a informação através de serviços *web*.

Na figura 3.3 pode ser visto uma ilustração possível de um sistema de localização implementado numa residência.

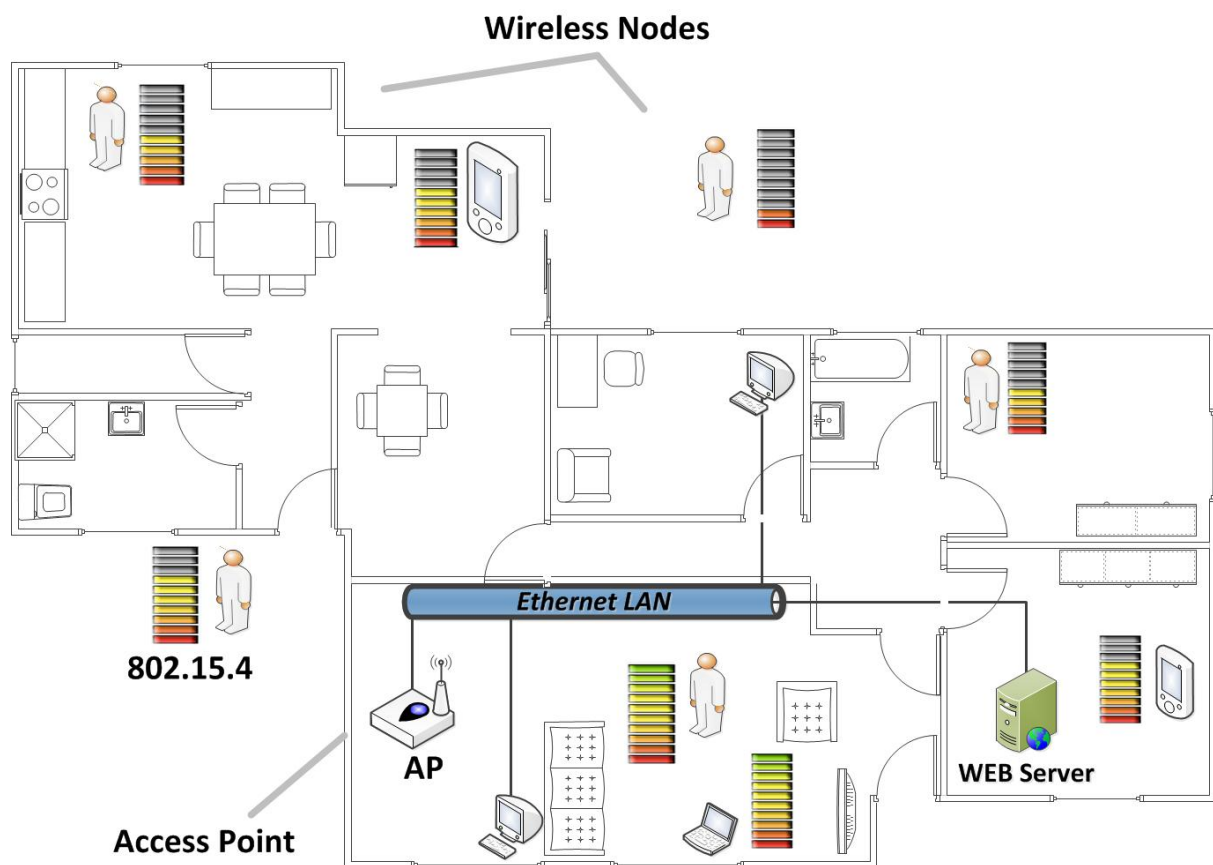


Figura 3.3: Sistema de Localização

Na figura está indicado um diagrama que mostra um *Access Point* (AP) como o ponto central de comunicação de uma habitação. Este ponto de acesso para além da capacidade

de monitorização e de controlo de dispositivos bem a capacidade de comunicação com a internet é capaz de fazer a localização de dispositivos móveis.

A localização dos nós móveis é efectuada com base na potência do sinal recebido no ponto de acesso através de um sinal enviado por cada um dos objectos, a potência recebida por sua vez depende da distância e dos obstáculos entre os nós móveis e o ponto de acesso. Isto pode-se ver na figura, em que as barras ao lado de cada um dos objectos são uma representação gráfica da potência do sinal recebido, e nota-se que quanto mais distante ou quantos mais obstáculos encontram-se entre os objectos e o ponto de acesso menor será a potência do sinal recebido.

Todos os dados recebidos no ponto de acesso são manipulados e guardados num servidor presente na rede IP local. Depois da recepção dos dados no servidor, estes são tratados de modo a decidir se cada um dos objectos encontram-se ou não dentro do compartimento em causa. Depois de uma decisão os dados são apresentados através de uma interface *web*.

3.2.2 Abordagem

Para obter as informações necessárias à localização dos dispositivos móveis, foi implementada uma solução em *software* que consiste, sucintamente, em recolher os dados necessários dos dispositivos e apresenta-los numa página *web* em tempo real.

As informações de maior interesse para atingir o objectivo são a potência do sinal recebido, a identificação de cada dispositivo, a identificação do local onde o dispositivo se encontra e uma marca temporal para obter maior rigor na apresentação dos resultados.

A integração de um *data sink* no ponto de acesso permite que qualquer um dos dispositivos móveis se possa ligar directamente ao ponto de acesso.

3.2.3 Cliente - Servidor

Na figura 3.4 é possível ver um exemplo de um sistema onde um mecanismo de localização baseado no paradigma cliente-servidor foi implantado.

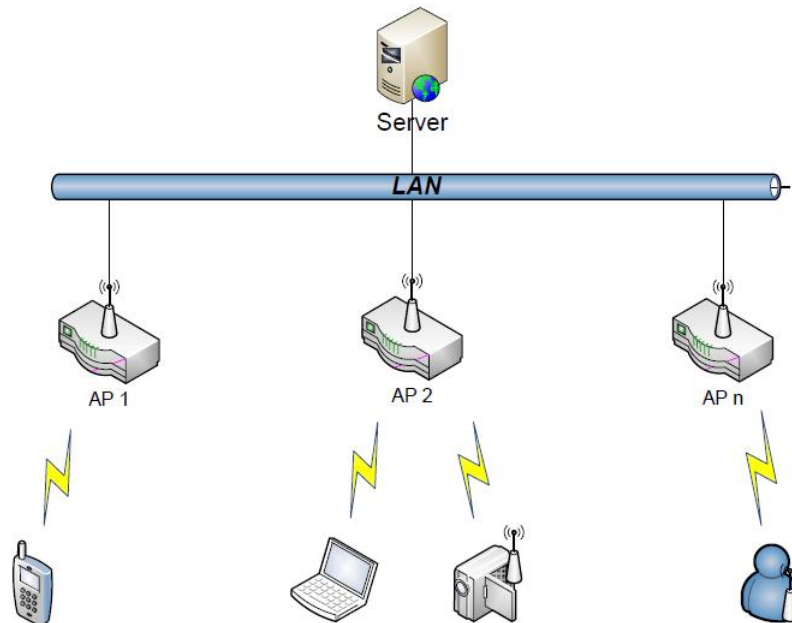


Figura 3.4: Sistema Cliente-Servidor

Neste sistema os clientes estão associados a cada um dos pontos de acesso, os quais são capazes de detectar a presença de objectos nos compartimentos onde cada um destes se encontra. Neste ambiente, cada ponto de acesso mede a potência do sinal recebido por cada um dos objectos que se encontram na sua área de cobertura. Ao receber uma transmissão de um dispositivo móvel, este recebe para além da potência do sinal, a identificação de cada um dos dispositivos, depois da recepção, o próprio ponto de acesso junta a sua identificação, uma vez que é esta que indica a sua localização específica e deste o servidor consegue distinguir cada um dos pontos de acesso. Depois disto, toda a informação é junta e enviada para o servidor que se encontra na rede local.

Por sua vez o servidor compara os valores da potência de cada dispositivo de modo a decidir se esse dispositivo se encontra no compartimento do ponto de acesso. Após a decisão da localização de cada um dos dispositivos, a informação será apresentada através de uma página *web* que se encontra alojada no mesmo servidor.

Capítulo 4

Soluções Técnicas

Este capítulo irá mostrar a um nível mais profundo todas as interfaces do sistema.

Será mostrado numa primeira secção todos os módulos de comunicação, tais como as *tags* móveis e o ponto de acesso. Ainda será efectuada uma análise detalhada das características de cada um, tanto ao nível de *hardware* como de *software*.

Num segunda secção será analisada toda a estrutura de comunicação ao nível da rede IP, analisando com detalhe o sistema cliente-servidor.

A última secção será focada na Disponibilização da Informação, analisando as estruturas de comunicação e as características de destas, mostrando com detalhe todos os campos destas estruturas e referindo as mais importantes para o objectivo pretendido.

4.1 Módulos de Comunicação

Nesta secção serão descritos os dois módulos de comunicação que integram o sistema de localização, um dos módulos é a Tag 802.15.4 o componente móvel do sistema e o que irá ser localizado, o outro componente é o Ponto de Acesso o componente fixo e o que irá localizar as *tags* móveis.

4.1.1 Tag 802.15.4

O dispositivo móvel é um módulo bastante simples. Pode haver duas implementações possíveis ao nível das *tags*, uma com o fim específico para *tag* de localização, outra em que se associa a um equipamento computadorizado. No primeiro caso, essencialmente consiste na interface de comunicação *wireless* 802.15.4 num micro controlador e numa bateria. No segundo caso, esta interface 802.15.4 pode estar associado a um computador, PDA ou telemóvel, uma vez que cada um destes pode ser programado com o fim de aplicar as funcionalidades desejadas pela *tag* em causa, e deste modo melhorando as exigências monetárias do equipamento.

Estas *tags* tem o papel de periodicamente enviar para o ponto de acesso, um conjunto de dados de modo a que o sistema possa determinar a sua localização.

Esta *tag* tem a particularidade de ser energeticamente eficiente, possui uma autonomia bastante alargada, deste modo o utilizador não tem de se preocupar em trocar a bateria ou de recarrega-la. A autonomia destas *tags* podem alcançar meses ou até em certos casos anos, dependendo da frequência da localização que se pretender.

Neste trabalho optou-se pela associação de uma *tag* a um computador portátil, deste modo toda a infra-estrutura de computação está disponível e não será necessário preocupações a nível de alimentação e autonomia, e desta maneira será possível provar o conceito do trabalho e mostrar o seu funcionamento.

Para implementar a *tag*, optou-se por utilizar módulos 802.15.4 Digi®XBee, uma vez que são módulos que oferecem todos os requisitos necessários na implementação da solução, e para além disso realçam vantagens em relação a outros módulos que se encontram no mercado.

Módulo XBee

Os módulos XBee estão desenhados de modo a suportar as normas impostas pelo regulamento IEEE 802.15.4, suportando as necessidades de baixo consumo em redes de sensores *wireless*, baixo custo e fornece uma plataforma fiável de transferência de dados entre módulos.

Estes módulos operam na gama de frequências ISM 2.4GHz e obedecem às normas ISO 9001:2000.



Figura 4.1: Modulo Xbee

Algumas das características do módulo XBee são as seguintes:

- Distância
 - *Indoor* ou Urbano até 30m
 - *Outdoor* (com linha de vista) até 90m
- Baixo Consumo

- Segurança e *Networking*
- Uso facilitado
 - Não necessita de configurações para comunicação simples
 - Modos de comando AT e API, para configuração dos módulos
 - Set de comandos extensivo

Outras características podem ser consultadas nos manuais do equipamento [4].

Envio dos dados: Modo transparente

Este módulo tem dois modos de funcionamento, o modo transparente e o modo API. No caso das *tags* o modo que se vai usar será o modo transparente uma vez que não será necessária a definição de alguns parâmetros da comunicação, tal como o endereço do destinatário e outros.

Por defeito é o modo activo para um módulo XBee. Quando o módulo trabalha neste modo, este actua como uma linha de comunicação série. Toda a informação recebida pelo canal UART é colocada numa fila de espera para ser transmitida via RF.

Os dados são enviados pela porta série UART e tem o formato indicado na seguinte representação temporal.

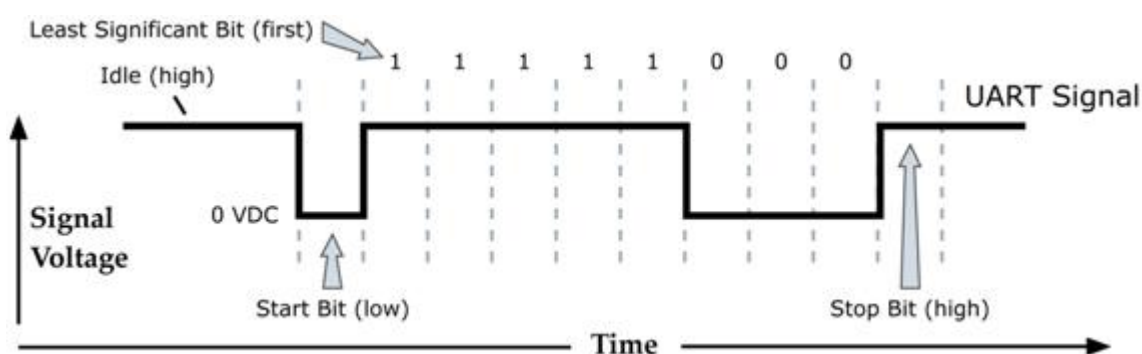


Figura 4.2: Envio de Um Byte pela Porta Série [4]

Quando não estão a ser enviados dados, a porta está ao nível lógico '1'.

A configuração da porta série depende de duas UARTs uma do módulo XBee e outra no equipamento computadorizado, e estas necessitam de ser configuradas com características compatíveis, tais como baudrate, start bits, stop bits e data bits.

Programa TAG

Este programa envia periodicamente uma transmissão RF para o meio, e espera dentro de um determinado *timeout* uma mensagem de resposta caso esteja nas proximidades de um ponto de acesso.

Na figura 4.3 pode-se ver um diagrama de blocos do programa, de modo a perceber-se de uma forma global o funcionamento das *tags*.

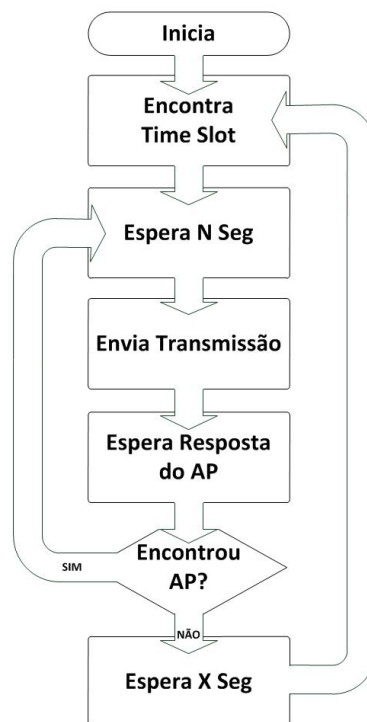


Figura 4.3: Diagrama de blocos do programa das Tags

Neste programa a porta série está definida com:

Baudrate = 9600

Start Bits = 1

Data Bits = 8

Stop Bits = 1

Ao inicializar o programa, a *tag* procura uma time slot no caso de haver outras *tags* nas proximidades, após ter encontrado essa time slot, esta *tag* envia periodicamente a cada N segundos uma transmissão.

A informação enviada corresponde à identificação individual da *tag*, e um identificador do tipo da mensagem enviada.

Depois de enviar a informação, a *tag* fica à escuta da resposta por parte do ponto de acesso, o qual responde com um *acknowledge* e a identificação da *tag*. Caso o ponto de acesso não responder dentro de um determinado *timeout* que no caso deste trabalho está definido como 0.1 segundos, a *tag* volta a enviar uma transmissão e volta a esperar o mesmo *timeout* pela resposta, este processo repete-se até cinco vezes. Se passadas as cinco tentativas não obtiver resposta por parte de nenhum ponto de acesso, a *tag* assume que não está nas proximidades de um compartimento com cobertura e entra num modo de suspensão durante X segundos. Após acordar do modo de suspensão, a *tag* volta a procurar uma time slot para voltar a poder enviar as transmissões normalmente.

4.1.2 Ponto de Acesso AP

O *Access Point* é o ponto central de todo o sistema de localização, uma vez que por aqui flui toda a informação.

Este ponto de acesso para além da interface 802.11, também foi integrada uma interface 802.15.4 XBee.

O papel deste AP é recolher toda a informação da localização de um variado número de *tags* espalhadas pelos compartimentos de um edifício, e enviar toda esta informação para um servidor que está na rede IP, para que esta informação posteriormente possa ser processada e apresentada ao utilizador.

O *Access Point* escolhido é modular e *open source*, o que permite bastante flexibilidade na escolha e implementação das soluções.

O OpenRB405 é um *Access Point* (AP) que integra redes *wireless* 802.11 e redes Ethernet. Pode-se ver este AP na seguinte imagem 4.4.



Figura 4.4: Ponto de Acesso - AP [5]

Características do AP

Este AP contém um processador RISC 32-bit de alto desempenho, o processador PPC405EP com frequência de funcionamento a 266MHz ou 333MHz.

Possui memória *on-chip*, controlador SDRAM, interfaces miniPCI, duas interfaces Ethernet, interface I2C e GPIO.

Algumas das características deste AP incluem 32MB a 128MB de memória SDRAM, 8MB de memória flash para aplicações, EEPROM acessível por I2C para armazenamento de dados de configuração, dois conectores de miniPCI de 32-bits, um conector de cartões de memória CF, ainda possui duas interfaces de expansão para desenvolvimento de aplicações personalizadas e duas interfaces série (UART).

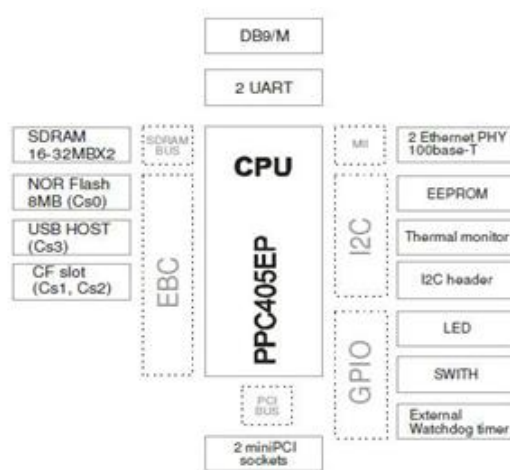


Figura 4.5: Diagrama de blocos do AP OpenRB405 [5]

Algumas das características deste ponto de acesso são as seguintes:

- FLASH 8MBytes
- Ethernet ports 10Base-T/100Base-T
- Duas miniPCI slots
- Porta Séri (RS-232) UART0 e UART1
- CF socket
- Interfaces de Expansão

Estas são as características mais relevantes no presente trabalho.

Esta secção descreve alguns dos aspectos do *hardware* do ponto de acesso OpenRB405. Pode-se verificar algumas das características presentes neste ponto de acesso.

Ethernet

Este AP fornece até duas portas Ethernet 100Base-T, com auto negociação para 10Base-T quando ligada a uma rede que não suporta uma taxa de transmissão de 100Mbps.

O suporte Ethernet para a camada MAC é fornecido pelo processador PPC405EP.

UART

Duas interfaces UART integradas no AP possibilitam simultaneamente a comunicação com um PC através da porta série RS232, e a comunicação com um módulo personalizado, o qual pode ser ligado à interface de expansão.

Esta interface de expansão está acessível ao lado do conector DB9 do AP. Esta interface vai ser usada de modo a ligar o módulo 802.15.4 XBee.

Na figura 4.6 está apresentada a interface de expansão em causa.

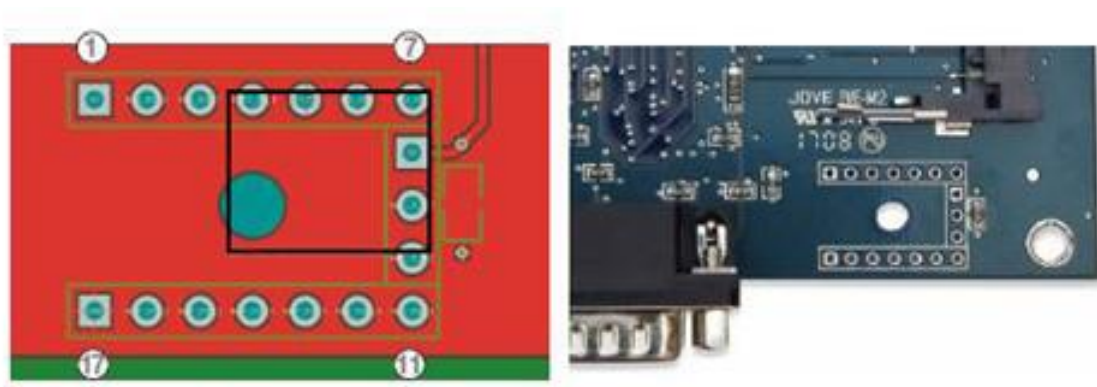


Figura 4.6: Interface de expansão [5]

Sistema Operativo OpenWRT

OpenWRT descreve-se como uma distribuição Linux para sistemas embutidos.

Este sistema operativo parte do princípio que há uma grande variedade de produtos com características diferentes, tais como diferentes processadores e uma grande variedade de periféricos. Tendo em conta a crescente diversidade de produtos no mercado, a OpenWRT fornece uma grande variedade de sistemas de ficheiros com gestor de pacotes de aplicações. Desta maneira o utilizador não está limitado às aplicações e às configurações fornecidas pelo vendedor do produto, podendo personalizar o dispositivo através do uso de pacotes de aplicação que se enquadram melhor com as necessidades do utilizador.

Para o programador esta plataforma permite o desenvolvimento de aplicações, sem que seja necessária a construção de um *firmware* específico para cada uma das plataformas.

Desta maneira o programador tem a capacidade para configurar o dispositivo de uma maneira completamente personalizada.

Este sistema operativo ainda oferece muitas das mesmas características presentes nos *firmware's* para *routers* comerciais, que são normalmente usados por utilizadores comuns.

Estas características incluem, entre outras, o serviço DHCP, criptografia WEP *wireless*, Wi-Fi *Protected Access* ou WPA2.

Também oferece um conjunto de serviços que por vezes não estão implementados em *routers* comerciais tais como:

- Configuração de *firewall* e *router*
- Configuração do dispositivo para actuar como repetidor *wireless*, ponto de acesso, *bridge* ou até uma combinação destes
- Linha de comando acessível por SSH ou Telnet
- Interface *Web*
- Suporte contínuo, com *updates* e correcção de bugs

Uma funcionalidade útil da OpenWRT é possuir um sistema de ficheiros totalmente gravável, o que permite a gestão de aplicações. Isto torna este sistema operativo extremamente versátil e adaptável a diferentes requisitos, possibilitando os utilizadores instalar ou remover *software* de acordo com as suas necessidades.

Configuração do módulo XBee

O módulo XBee que está integrado no ponto de acesso, ao contrário das *tags*, usa o modo API para fazer as comunicações. A vantagem de usar este modo é que este fornece para além dos dados transmitidos um conjunto de dados, estes relativamente ao endereço do remetente, a potência do sinal recebido, o tamanho da trama de dados transmitidos entre outros dados.

Modo API

Uma alternativa ao modo transparente é o modo API em que é possível estender as funcionalidades do módulo de modo a poder interagir com as características da rede, desta forma controlando e gerindo esta rede sem fios. Quando em modo API, toda a informação que entra ou que sai do módulo é contida em campos da trama que definem operações ou eventos dentro do módulo.

Para configurar o módulo para este funcionar no modo API é preciso enviar um comando AT.

Comandos AT

Para entrar no modo AT é necessário o envio da sequência de caracteres '+++' e respeitar os tempos de guarda antes e depois do envio desta sequência.

Exemplo:

1. Esperar um segundo, dentro desta janela temporal não pode haver envio ou recepção de caracteres
2. Enviar a sequência +++
3. Esperar um segundo

Após entrar no modo AT, o envio dos comandos tem de respeitar a seguinte sintaxe.

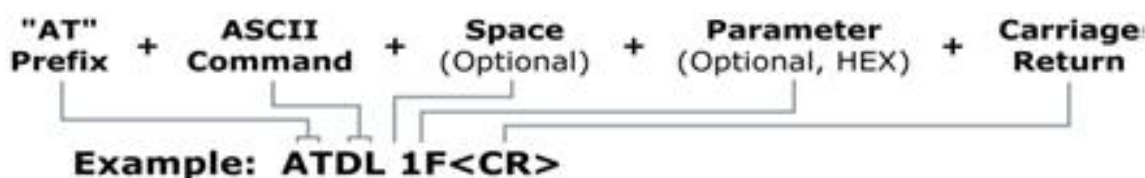


Figura 4.7: Estrutura do comando AT [4]

Com o envio de um comando para o módulo, este vai processar a informação, e após a execução do comando e no caso de sucesso de execução, o módulo responde com o envio de uma mensagem "OK" e no caso da ocorrência de um erro na execução é enviada a mensagem "ERROR".

Então para configurar o módulo para o modo API é necessário o envio do seguinte comando:

ATAP 1

Para sair do modo AT é apenas necessário o envio do comando ATCN, ou não enviar comandos AT dentro da janela temporal definida por CT (*Command Mode Timeout*).

XBee API: Programa de Configuração

O primeiro passo para a configuração do módulo passa por um programa que define o funcionamento em modo API.

A configuração do módulo está representada no seguinte diagrama de blocos.

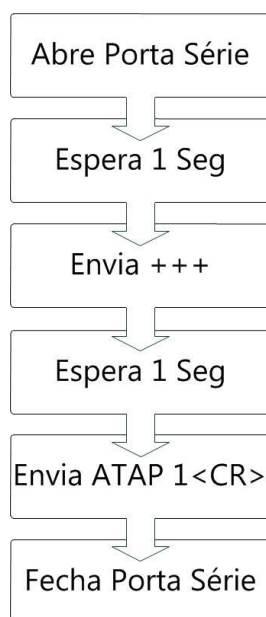


Figura 4.8: Diagrama de blocos do programa de configuração do modo API

O comando AP é usado para activar o modo API no módulo XBee. O parâmetro 1 define modo API. Por defeito o parâmetro definido é o 0, correspondendo ao modo transparente. O parâmetro alternativo é o 2, correspondendo ao modo API com caracteres escape, neste módulo definido com o valor hexadecimal 0x7D.

Este programa é sempre executado no *boot* do sistema operativo, de modo a garantir sempre que o módulo XBee encontra-se e modo API sempre que o AP está ligado.

Quando em modo API, a trama de dados enviados pela porta série tem o seguinte formato.



Figura 4.9: Formato das tramas em modo API [4]

Por defeito os módulos XBee funcionam com modo de endereçamento de 16 bits. A alteração deste modo requer a alteração dos programas de leitura das tramas de dados transferidas entre os módulos, uma vez que os campos destinados a parâmetros tais como o RSSI são alterados. Por exemplo no caso do modo de endereçamento ser 16 bits, o valor RSSI encontra-se no byte 7 da trama, e no caso do modo de endereçamento de 64 bits, o valor de RSSI encontra-se no byte 13.

No presente trabalho, o modo escolhido é o de 16bits, pelo que o programa de obtenção dos campos da trama está estruturado para esse efeito.

O formato de uma trama recebida pelo módulo XBee é a seguinte.

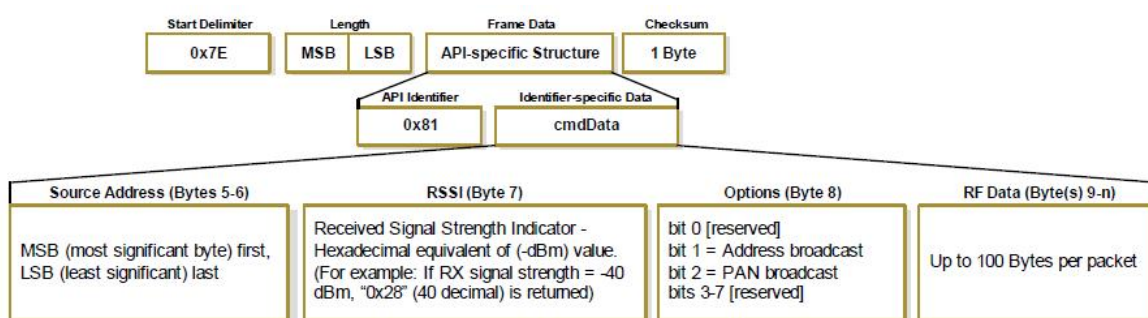


Figura 4.10: Trama de dados recebidos [4]

O formato de uma trama enviada é.

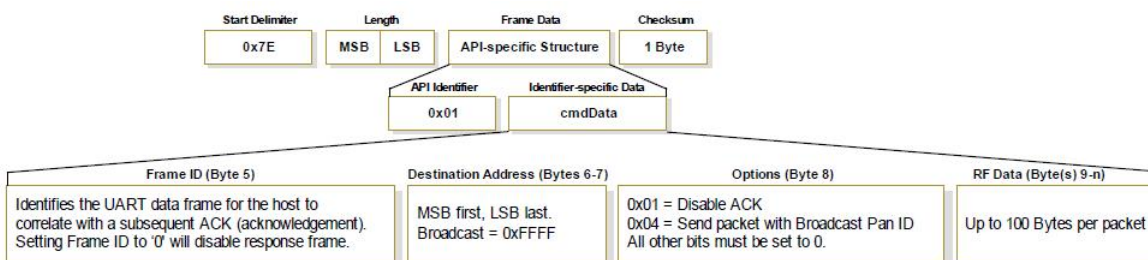


Figura 4.11: Trama de dados enviados [4]

Nestas tramas MSB e LSB significam *Most Significant Byte* e *Least Significant Byte* respectivamente. Estes dois bytes definem o tamanho da trama que se segue, ou seja, o tamanho em bytes da *API-specific Structure*.

Captura e Envio de dados

O envio de uma mensagem de um *end device* XBee é capturado pelo módulo embutido no ponto de acesso, e após a recepção esta mensagem é transferida para este usando a interface de comunicação série.

A mensagem recebida na porta série é lida a partir de um programa que lê sequencialmente cada um dos bytes da trama da mensagem recebida.

Uma vez obtida a mensagem no ponto de acesso, esta é manipulada de modo a fornecer os dados necessários para o objectivo pretendido.

De um modo semelhante à captura visto no caso da *Tag* 802.15.4, o envio de mensagens para o módulo XBee é efectuado por um programa que envia a informação necessária para a porta série. O envio desta mensagem para o meio de transmissão é totalmente de responsabilidade de o módulo XBee.

À semelhança da *tag*, os parâmetros de comunicação da porta série têm os mesmos valores, ou seja Baudrate 9600, Stop Bits 1 e Data Bits 8.

Gateway Zigbee-Ethernet

De modo a fornecer uma ligação física entre o módulo e o AP, usou-se a interface de expansão 1, uma vez que esta interface fornece o acesso à comunicação série via UART1, uma vez que a comunicação entre módulo XBee e o ponto de acesso é efectuada através da porta série assíncrona.

Na seguinte figura está ilustrada a *gateway* através de um diagrama de blocos.

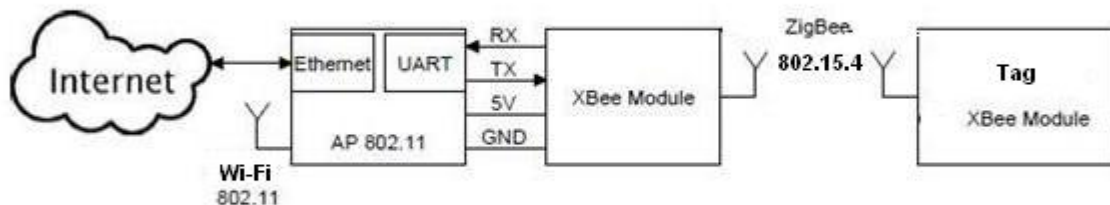


Figura 4.12: Diagrama de Blocos da Gateway

Para efectuar a conexão entre o módulo XBee e o AP, interligou-se os seguintes pinos.

Função	Pino XBEE	Pino AP	Tensão
Envio de Dados	3 (DI)	14 (UART 1 TX)	3.3 V
Recepção de Dados	2 (DO)	13 (UART 1 RX)	3.3 V
Ground	10 (GND)	17 (GND)	GND
Alimentação	1 (VCC)	5 (3.3 V)	3.3 V

Tabela 4.1: Ligação entre módulo XBee e AP

Programa Zigbee-Ethernet Gateway

Este programa está a maior parte do tempo de funcionamento a escutar o meio de transmissão. Ao iniciar entra neste estado até haver uma transmissão de dados por parte de uma *tag*, depois de receber estes dados, envia um *acknowledgement* para a mesma *tag* indicando que recebeu os dados devidamente. A estes dados dão acrescentados mais alguns campos adicionais que de seguida serão enviados para um servidor, caso este esteja disponível. Após o envio com sucesso volta a ficar no estado em que escuta o meio de transmissão. No caso de não encontrar um servidor, regressa ao estado de escutar o meio pois na transmissão seguinte o servidor já pode estar *online*.

Na imagem 4.13 pode-se ver numa descrição por diagrama de blocos o funcionamento do programa desta gateway.

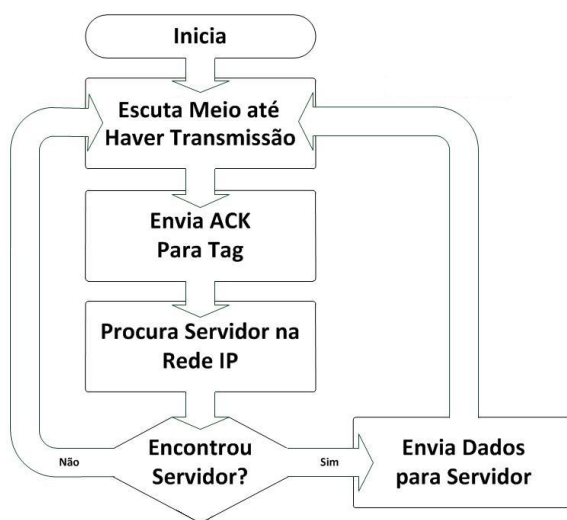


Figura 4.13: Diagrama de Blocos do Programa da Gateway

Ao receber os dados emitidos por uma *tag*, para além da identificação da própria *tag*,

pode-se ter acesso ao valor da potência do sinal recebido que se encontra no campo RSSI da trama recebida, uma vez que o módulo XBee está a funcionar em modo API.

A estes dados ainda são adicionados mais três campos para que o sistema de localização funcione correctamente. Um dos campos é a identificação do próprio ponto de acesso, uma vez que é com este dado que se pode saber exactamente onde uma *tag* se encontra, pois parte-se do pressuposto que os pontos de acesso são fixos. Um outro campo é a *time stamp*, de modo a ser possível identificar quando é que uma determinada *tag* foi localizada. Por fim o último campo é uma identificação do tipo de mensagem que será enviada, podendo ser necessária caso seja preciso alargar as funcionalidades do sistema.

Depois de ter os dados prontos a serem transmitidos, estes são enviados para um servidor presente na rede IP. Este processo será descrito na seguinte secção.

4.2 Ligação à Ethernet

Nesta secção será descrito o funcionamento do sistema ao nível da rede IP, explicando o método usado no paradigma cliente-servidor de modo a centralizar a informação num servidor.

4.2.1 Cliente

Como já foi visto no capítulo da Arquitectura do Sistema, o sistema baseia-se no paradigma cliente-servidor para transmitir os dados entre o ponto de acesso e o servidor.

O facto de poder haver um elevado número de pontos de acesso no sistema, implica o uso desta abordagem para implementar o sistema.

Os dados que serão enviados para a rede IP, através de um algoritmo que estabelece conexão com um servidor. Esta aplicação do tipo cliente está assente sobre a camada protocolar de transporte TCP, de modo a dar uma fiabilidade na transmissão dos dados para o servidor. Este sistema está implementado de modo a funcionar com endereços IPv4, podendo posteriormente ser implementado para IPv6.

É necessária configurar o endereço IP do servidor bem como a porta em que este está a correr.

Após o envio dos dados para o servidor, o cliente fecha a conexão, uma vez que não sabe quando será a próxima transmissão, pois esta depende da presença de *tags* nas proximidades do ponto de acesso.

Este programa para além de oferecer um serviço de transmissão de dados funcional, ainda possui mecanismos para contornar eventuais problemas no servidor. Caso não encontre um servidor, o programa volta ao estado de escuta de *tags*, deste modo caso o servidor volte ao estado funcional, na seguinte transmissão já pode efectuar o envio de dados sem problemas.

4.2.2 Servidor

De modo a implementar este sistema de localização, o servidor neste sistema tem de ser único, uma vez que é necessária a convergência de toda a informação relativamente a todos os pontos de acesso para um único local.

Na figura 4.14 pode-se ver o funcionamento do programa do servidor.

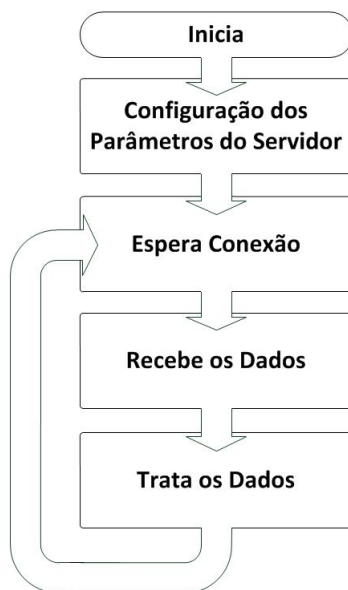


Figura 4.14: Diagrama de Blocos do Programa do Servidor

Quando inicia o programa do servidor, este estabelece as configurações necessárias para poder haver transmissão de dados a partir de um cliente. Uma vez configurado, inicia a escuta na rede. Quando um ponto de acesso pretende transmitir dados, há um pedido por parte deste, ao qual o servidor responde com a aceitação da transmissão. Após da recepção dos dados, o servidor vai tratar os dados e enviar estes para uma camada protocolar superior deste sistema de localização a qual por sua vez vai ser responsável pela apresentação dos resultados.

O servidor à semelhança do cliente, é uma aplicação que corre sobre TCP. Este também apenas suporta IPv4.

É necessário configurar a porta na qual o servidor vai estar à escuta de conexões, e esta porta tem de ser igual tanto do lado do cliente como do lado do servidor.

Dependendo da vontade do utilizador o servidor pode estar alojado num computador na rede local ou pode estar alojado em um dos pontos de acesso. No presente trabalho optou-se por alojar este servidor em um dos pontos de acesso.

4.3 Disponibilização da Informação

Este sistema está concebido para recolher informação proveniente de *tags*, sendo que um dos equipamentos funciona como servidor central que recolhe a informação relevante do sistema.

O sistema de localização para funcionar correctamente tem de ter um conjunto de dados essenciais, tais como:

- Identificação Individual da *Tag*
- Identificação Individual do Ponto de Acesso
- Potência do Sinal Recebido
- Informação Temporal
- Identificador do tipo de mensagem

Estes são os dados necessários na implementação da solução.

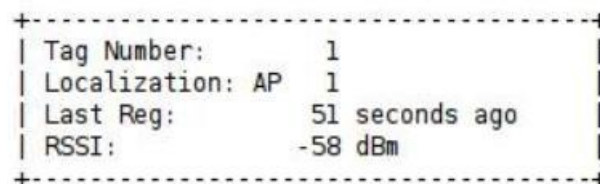
Esta informação será guardada num servidor local ou no próprio ponto de acesso.

Web Site

Uma página de *web* será o meio de acesso a toda a informação relativamente ao sistema de localização.

Assim deste modo qualquer utilizador pode aceder ao sistema de localização a partir da Internet. Este modo de apresentação de resultados ainda aproveita-se do facto de hoje em dia a utilização de *web browsers* serem amplamente utilizados por parte dos utilizadores de computadores. Com base na página *web*, o acesso à informação pode ser restringido por protocolos de segurança tais como controlo de acesso com um nome de utilizador e uma palavra-chave.

Nesta página *web* pode-se ver os resultados da localização de qualquer objecto que esteja devidamente equipado com uma *tag*. A informação disponibilizada pode ser vista na imagem 4.15.



Tag Number:	1
Localization:	AP 1
Last Reg:	51 seconds ago
RSSI:	-58 dBm

Figura 4.15: Informação Disponibilizada

Esta informação determina a localização através do campo Localization, este indica qual foi o ponto de acesso que localizou a *tag* em causa, e com base nessa informação sobre o ponto de acesso e após a análise da planta da casa que se encontra na página *web*, é possível obter a localização de qualquer objecto ou pessoa.

O campo Last Reg indica há quanto tempo determinada *tag* foi localizada pela última vez. Este campo para além de possibilitar obter a hora da última vez que esta *tag* em causa foi localizada antes de ficar fora do alcance de todos os pontos de acesso, também possibilita guardar um registo de onde essa *tag* foi pela última vez localizada, uma vez que a gestão de dados vem em função do tempo do último registo. Para além disso, de acordo com o valor deste campo pode-se implementar mecanismos de alerta, no caso de uma *tag* estar um determinado tempo fora do alcance do sistema.

O valor do RSSI indica a proximidade relativamente ao ponto de acesso, este campo pode ser omitido da apresentação, mas é fundamental para o funcionamento do sistema.

Capítulo 5

Validação e Avaliação do Sistema

Neste capítulo será mostrado o funcionamento do sistema, e ainda será feita a validação e uma avaliação do ponto de vista do seu funcionamento.

Na primeira secção será apresentado o demonstrador desenvolvido neste trabalho. Será mostrado todo o equipamento usado na validação deste sistema, bem como será explicado passo por passo o seu funcionamento.

Na segunda secção serão avaliadas algumas características temporais do sistema, com o objectivo de mostrar qual o impacto que algumas destas características tem no seu funcionamento.

5.1 Demonstrador

O sistema que foi desenvolvido no âmbito deste projecto baseou-se essencialmente nos dois módulos de comunicação apresentados no capítulo anterior, tendo ainda sido usado algum equipamento que serviu de suporte para alguns fins específicos.

Para provar o conceito usou-se uma *tag* móvel, um computador portátil, dois pontos de acesso com interface de comunicação Zigbee, um *switch*, um computador fixo e um *router*.

Na figura 5.1 pode-se ver o diagrama com todo o equipamento usado no demonstrador deste sistema.

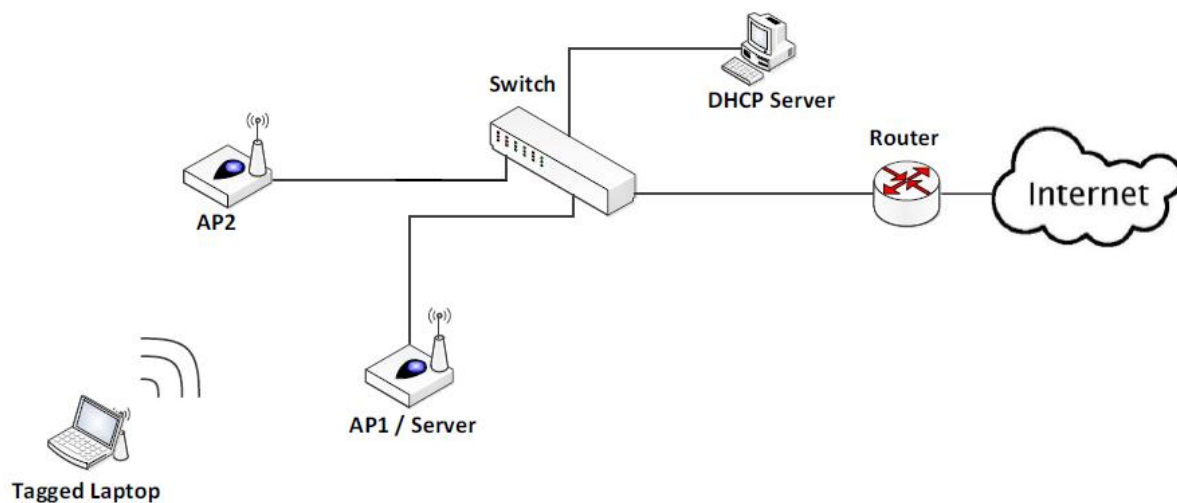


Figura 5.1: Estrutura do Sistema

Usou-se uma *tag* móvel associada a um portátil, esta *tag* composta por um módulo XBee o qual liga-se ao portátil por uma porta USB, e no portátil corre a aplicação que gere o funcionamento das *tags*.

Os dois pontos de acesso possuem cada um deles uma interface de comunicação Zigbee fornecida pelos módulos XBee, tal como nas *tags*. Estes pontos de acesso estão os dois ligados a um *switch* de modo a pertencerem os dois à mesma rede local. Para além de providenciarem acesso Wi-Fi, servem de equipamentos que localizam as *tags*. Preferencialmente devem de encontrar-se em compartimentos diferentes, como é habitual para este tipo de equipamentos. Em cada um deles corre uma aplicação que escuta o meio de transmissão de rádio frequência, e que recolhe a informação proveniente das *tags*, esta informação por sua vez é enviada através de uma aplicação cliente-servidor. Um destes pontos de acesso ainda é responsável pela recolha da informação, uma vez que é neste que corre a aplicação de servidor, deste modo tirando proveito das funcionalidades deste, e consequentemente é também neste equipamento que se encontra alojada a página *web*.

Um dos equipamentos de suporte ao demonstrador é o computador fixo, o qual fornece um serviço de servidor de DHCP, atribuindo a cada um dos equipamentos interiores à rede local endereços de IP. É preciso ter em conta que os endereços IP das interfaces ethernet de cada um dos pontos de acesso é fixo, isto para que os programas clientes em cada um dos diferentes pontos de acesso saibam qual o endereço do servidor.

Por fim o *router* é o equipamento que fornece a todos os equipamentos o acesso à internet. O acesso à internet é fundamental para o sistema de localização, uma vez que a aplicação da localização requer o uso do relógio do sistema operativo que é actualizado a partir de um cliente NTP.

Funcionamento

O funcionamento deste sistema pode ser descrito em quatro etapas diferentes.

Na figura 5.2 pode-se ver a descrição das diferentes etapas do processo de localização.

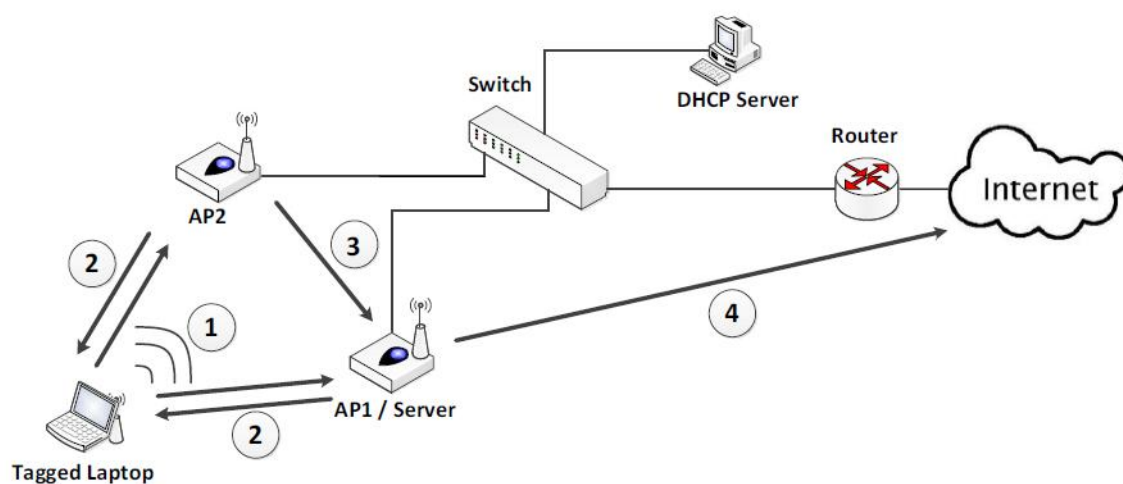


Figura 5.2: Descrição do Funcionamento do Sistema

Na primeira etapa, uma *tag* móvel que está associada ao computador portátil envia uma transmissão de dados, os quais incluem a identificação da *tag* em causa e um identificador do tipo da mensagem enviada. Esta informação é captada por cada um dos pontos de acesso, no caso de a *tag* estar dentro do raio de cobertura destes.

A segunda etapa no funcionamento do sistema consiste no envio de uma mensagem do ponto de acesso para a *tag* em causa. Esta mensagem é do tipo *acknowledgement*, e serve para que a *tag* tenha uma maneira de saber quando está dentro do raio de cobertura de algum dos pontos de acesso, e para o caso de não estar, eventualmente entrar em modo suspenso para poupar energia. Esta informação consiste na identificação da *tag* que anteriormente enviou a informação para o ponto de acesso, e uma mensagem de *acknowledgement*.

Na terceira etapa, cada um dos pontos de acesso envia a informação relativamente à transmissão da *tag* para um servidor, o qual encontra-se alojado em um dos pontos de acesso. A informação enviada consiste na identificação da *tag* localizada, a identificação do ponto de acesso em causa, o valor da potência do sinal recebido de modo a poder determinar a localização, um identificador do tipo de mensagem para controlo de informação e uma identificação temporal. Por sua vez o servidor recolhe a informação, trata os dados de modo a obter uma decisão acertada e de seguida disponibiliza a informação de modo a poder ser consultada a qualquer momento.

A última etapa consiste na apresentação da informação da localização numa página *web* a qual pode ser acedida a partir da Internet a qualquer momento.

5.2 Medições

As medições temporais que se realizaram no decorrer deste projecto dão para tirar algumas conclusões ao nível de restrições que devem de ser cumpridas para o bom funcionamento do sistema em causa.

Estas medições foram efectuadas nas interfaces de comunicação série tanto da *tag* como do ponto de acesso. As medições foram efectuadas em quatro pinos diferentes, a saída e a entrada da interface série de cada um dos equipamentos. Deste modo pode-se verificar qual a janela temporal na qual não pode haver mais transmissões por parte de outras *tags* ou de outros pontos de acesso de modo a não comprometer a integridade da transmissão de informação.

Estas medições são referentes à transmissão de dados por parte da *tag* e ao envio do *acknowledge* correspondente por parte do ponto de acesso.

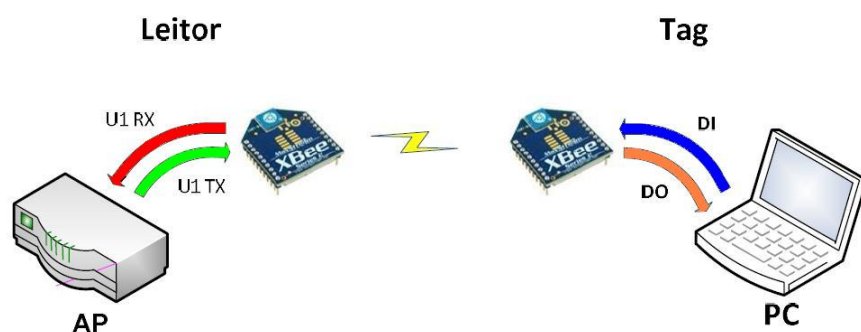


Figura 5.3: Interfaces de Medição

Na figura 5.3 pode-se ver quais são as interfaces nas quais foram efectuadas as medições. Um descrição de cada uma destas interfaces está imediatamente abaixo.

As medições foram efectuadas nos seguintes pinos:

- Tag
 - Porta Série - Entrada de Dados (DI)
 - Porta Série - Saída de Dados (DO)
- Ponto de Acesso
 - Porta Série - Saída de Dados (UART 1 TX)
 - Porta Série - Entrada de Dados (UART 1 RX)

A primeira medição indica o início do envio dos dados pela porta série por parte do portátil para o módulo XBee, e o fim da recepção pela porta série por parte do ponto de acesso. Esta medição pode ser vista na figura 5.4.

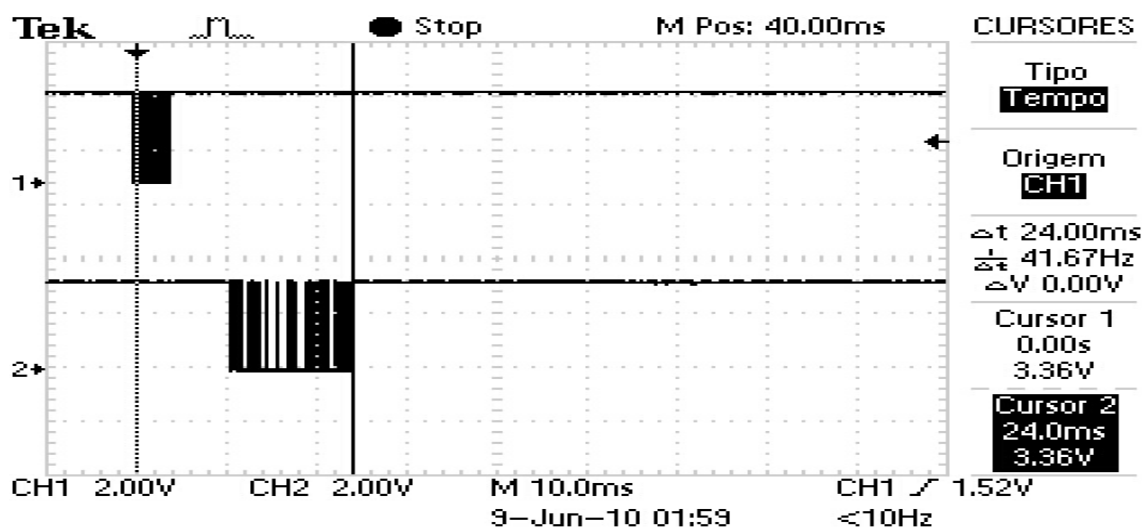


Figura 5.4: Medição Temporal: Início Transmissão (TAG) e Fim de Recepção (AP)

A segunda medição indica o início do envio dos dados pela porta série no portátil tal como no caso anterior, e o início da transmissão dos dados pela porta série do ponto de acesso. A figura 5.5 está indicada esta medição.

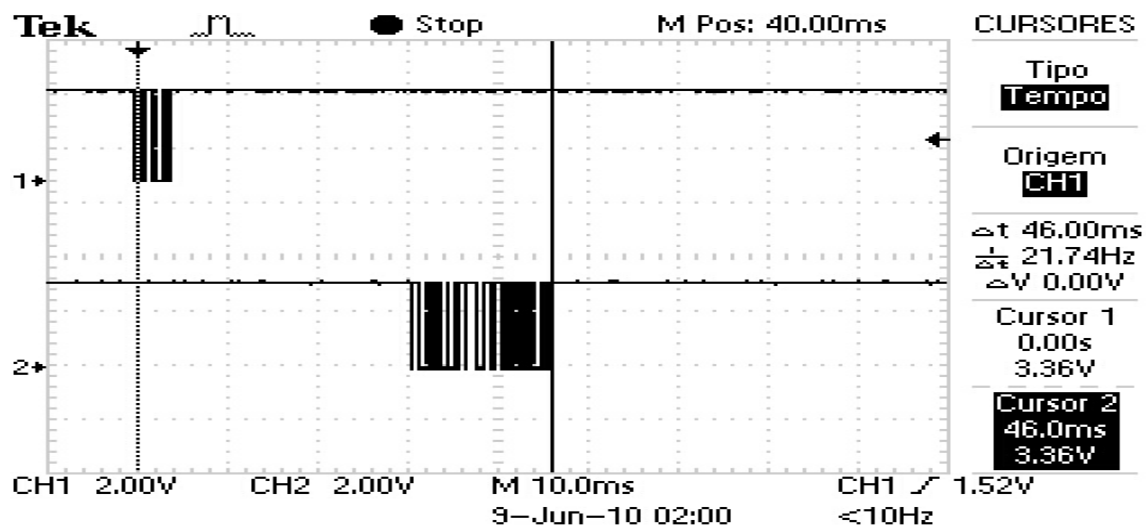


Figura 5.5: Medição Temporal: Início Transmissão (TAG) e Fim Transmissão (AP)

A terceira e última medição também indica o início da transmissão dos dados por parte do portátil para o módulo XBee, e o fim da recepção dos dados por parte do portátil. Na figura 5.6 pode-se verificar esta medição.

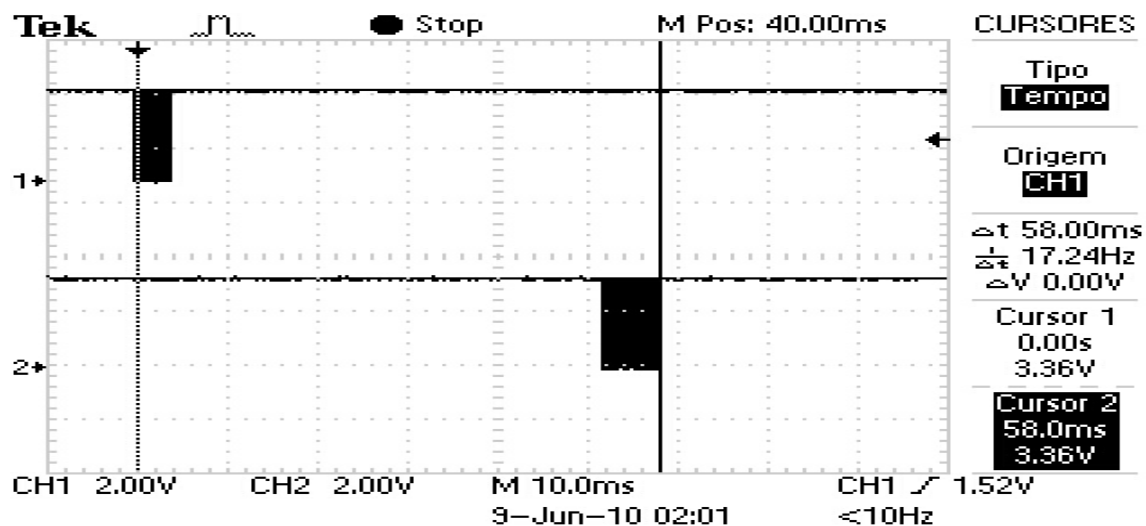


Figura 5.6: Medição Temporal: Início Transmissão (TAG) e Fim Recepção (TAG)

Os valores que se obtiveram podem variar em alguns mili-segundos, isto devido ao acesso ao meio nunca ser num tempo específico, uma vez que o meio pode estar ocupado e isto levar ao atraso na transmissão dos dados.

Os resultados que se obtiveram podem ser visto na tabela 5.1 já abaixo.

	Tempo Mínimo (ms)	Tempo Máximo (ms)	Média (ms)
Início Transmissão TAG	0	0	0
Fim Recepção AP	23.6	24.6	24.1
Fim Transmissão AP	44.2	49.2	46.7
Fim Recepção TAG	54.9	58.6	56.75

Tabela 5.1: Medições Temporais do Sistema

Deste modo pode-se concluir que em média a janela temporal da troca de informação entre a *tag* e o ponto de acesso corresponde a 56.75ms. Dentro desta janela temporal não vai poder haver mais transmissões por parte de nenhuma outra *tag* e nenhum outro ponto de acesso.

De acordo com estes dados pode haver aproximadamente 17.6 transmissões a cada segundo.

É necessário ter em conta que todos estes valores e as conclusões que se tiram a partir destes valores, são influenciados pelos parâmetros de comunicação série definidos, tais como o baudrate o qual foi estabelecido como 9600. Este parâmetro afecta directamente os valores temporais analisados anteriormente, uma vez que um aumento no baudrate provoca uma diminuição no tempo de transmissão dos dados pela porta série.

Outro dos aspectos que influencia os valores temporais analisados são os próprios dados transmitidos. Isto implica que o excesso de dados transmitidos vai provocar respostas temporais mais extensas. Sendo assim pretende-se enviar apenas os dados essenciais à localização das *tags*.

Em relação ao tempo de processamento exigido pelo algoritmo, este também afecta os valores temporais, sendo que uma boa estruturação do algoritmo a usar também pode ter um bom efeito no funcionamento do sistema em termos de respostas temporais.

Deste modo, e tendo em conta cada um dos aspectos analisados anteriormente, o sistema tem de ser projectado de modo a ter em conta algumas restrições ao nível da frequência de transmissão de uma *tag* e o número de *tags* que podem estar presentes no mesmo espaço, sendo que uma variação no valor da frequência de transmissão afecta directamente o número de *tags* que podem existir no mesmo sistema.

Capítulo 6

Conclusões

A área das comunicações sem fios tem sido, nos últimos anos, constantemente alvo do desenvolvimento de novas soluções para dar suporte às crescentes necessidades do mercado.

O facto de haver uma grande diversidade de aplicações no campo das comunicações sem fios, requer que haja também diferentes normas e protocolos que solucionem todas as exigências por parte de cada uma das aplicações. Na variedade destes diferentes protocolos destaca-se o Zigbee sobre o qual foi desenvolvido o projecto em causa.

Este projecto acabou por dividir-se em duas fases diferentes.

Uma primeira fase que consistiu no desenvolvimento de uma plataforma de comunicação entre uma rede Zigbee e uma rede IP. Nesta fase do projecto tinha-se como objectivo solucionar o problema, arranjando o equipamento adequado para implementar a ideia e criar o *software* necessário para a comunicação entre as duas redes. Tendo em conta os objectivos, passou-se à pesquisa e à selecção dos equipamentos mais adequados para implementar o problema proposto. A escolha do ponto de acesso foi determinada tendo em conta algumas das características deste, uma vez que este teria de ser *open source* e modular. A escolha do módulo Zigbee também foi efectuada tendo em conta características tais como baixo consumo, fiabilidade na transferência de dados, o alcance e a facilidade de utilização. Sendo assim, nesta fase do projecto o trabalho realizado foi essencialmente ao nível do ponto de acesso, ao qual foi integrado um módulo de comunicação XBee, e sobre o qual foi desenvolvida uma aplicação de transferência de dados entre ambas as redes.

Numa segunda fase do projecto, a qual requeria um bom funcionamento do sistema implementado na primeira fase, baseou-se no desenvolvimento de um simples sistema de localização orientado ao compartimento. Esta localização seria feita com base na potência do sinal recebido por parte de um ponto de acesso, este sinal proveniente de uma *tag* móvel. Nesta fase do projecto já se estendeu as funcionalidades da *gateway* entre redes Zigbee e redes IP a mais pontos de acesso, de forma a criar uma infra-estrutura adequada para aplicação de um sistema de localização. Também criou-se uma aplicação que simula o funcionamento de uma *tag*. Ainda desenvolveu-se um servidor com o propósito de recolha da informação relevante para o funcionamento do sistema de localização e apresentação dos resultados desta localização através de uma página *web*.

Com uma infra-estrutura adequada para o funcionamento de um sistema de localização, passou-se aos testes deste.

No decorrer dos testes, verificou-se um bom funcionamento do sistema na sua integridade, desde uma comunicação estável entre as duas redes até ao sistema de localização e a apresentação dos resultados.

Apesar do sistema de localização utilizado ser de reduzida complexidade, obtiveram-se resultados bastante aceitáveis. A localização uma vez que é orientada ao compartimento, consegue-se obter com uma elevada precisão resultados que estão de acordo com o que seria esperado.

Deste modo e com a conclusão deste trabalho, pode-se dizer que atingiu-se os objectivos que se pretendiam, e como este sistema apresenta uma versatilidade bastante grande na possibilidade de implementar soluções variadas para diferentes aplicações, fica sempre a possibilidade, de num futuro, melhorar ou acrescentar ainda mais funcionalidades a este sistema.

Algumas das ideias podem ser desenvolvidas com base em todo este projecto, por exemplo, a implementação de um sistema de localização mais complexo, que em vez de localizar objectos em compartimentos, consiga localizar uma *tag* dentro desse compartimento. Outro exemplo pode ser o desenvolvimento de *tags* que respeitam um determinado número de restrições, tanto ao nível de autonomia, como de tamanho e até mesmo de custos de desenvolvimento.

Ainda no âmbito dos conteúdos desenvolvidos neste trabalho pode-se efectuar melhoramentos, e deste modo dando ainda mais alguns fundamentos para trabalhos que se podem desenvolver a partir deste. Um dos melhoramentos que pode-se efectuar é ao nível dos parâmetros temporais do funcionamento do sistema, os quais podem ser significativamente melhorados, como por exemplo aumentando a velocidade de transmissão dos dados pela porta série. O uso de processamento concorrente para recepção dos dados também pode ser um dos aspectos a ter em conta para o futuro, uma vez que neste trabalho recorreu-se a um algoritmo sequencial para recepção dos dados, e com esta abordagem as características temporais do sistema poderiam ser bastante melhoradas. O melhoramento do algoritmo usado e uma revisão das estruturas de dados transmitidos também podem ser um dos aspectos a ter em conta.

O melhoramento da apresentação dos resultados também pode ser uma direcção a ter em conta para trabalhos futuros. Neste trabalho a apresentação dos resultados foi efectuada através de uma interface *web*, a qual poderá ser melhorada acrescentando funcionalidades e usando diferentes métodos de apresentação tendo em conta o objectivo de agradar os utilizadores.

Sendo assim, a possibilidade de, após uma conclusão com sucesso deste projecto, desenvolver ainda mais trabalho com base neste, reflecte-se num ponto a favor a contribuição deste trabalho para trabalhos futuros.

Bibliografia

- [1] *OpenWRT User Manual*. <http://www.openwrt.org/>.
- [2] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan. *RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System*. Microsoft.
- [3] M; Shen W; Ghenniwa H Bal, M; Liu. *Localization in cooperative wireless sensor networks: a review*, April 2009.
- [4] Digi International Inc., <http://www.digi.com>. *XBee/XBee-PRO RF Modules*, September 2009.
- [5] Direct, SIA, <http://openrb.com/>. *OpenRB405 User Manual*, 1.0 edition, July 2008.
- [6] DROIDS SAS, <http://www.droids.it/>. *XBee - USB Board*, 2.0 edition.
- [7] Peter Baumann Gary Frerking. *Serial Programming HOWTO*. Dept. of Computer Science University of California at Davis, July 2001.
- [8] Jonghoon KIM Hyunggi CHO, Myungseok KANG and Hagbae KIM. *ZigBee based Location Estimation in Home Networking Environments*, May 2004.
- [9] IEEE Computer Society, IEEE 3 Park Avenue New York, NY 10016-5997, USA. *IEEE Std 802.15.4-2006*, September 2006.
- [10] IEEE Computer Society, IEEE 3 Park Avenue New York, NY 10016-5997, USA. *IEEE Std 802.15.4a-2007*, August 2007.
- [11] Norman Matloff. *Overview of Computer Networks*, 1.01 edition, April 2005.
- [12] Bruno Astuto Arouche Nunes. *UM SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO PARA REDES WI-FI BASEADO EM NÍVEIS DE SINAL E MODELO REFERENCIADO DE PROPAGAÇÃO*. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Maio 2006.
- [13] Volkan Isler Onur Tekdas. *Sensor Placement for Triangulation Based Localization*. Rensselaer Polytechnic Institute Department of Computer Science.

- [14] Vince Chook Stefano Chessa Alberto Gotta Y. Fun Hu Paolo Baronti, Prashant Pillai. *Wireless Sensor Networks: a Survey on the State of the Art and the 802.15.4 and ZigBee Standards*. Mobile and Satellite Communication Research Centre; Wireless Networks Laboratory Pisa, Italy, Department of Computer Science, University of Pisa.
- [15] Nissanka Bodhi Priyantha. *The Cricket Indoor Location System*. Massachusetts Institute Of Technology, June 2005.
- [16] Fellow IEEE Hui Gao Kunfeng Wang Qingming Yao, Fei-Yue Wang and Hongxia Zhao. *Location Estimation in ZigBee Network Based on Fingerprinting*.
- [17] Frank Golatowski Dirk Timmermann Ralf Grossmann, Jan Blumenthal. *Localization in Zigbee-based Sensor Networks*. CELISCA, Center for Life Science Automation; Faculty of Computer Science and Electrical Engineering Institute of Applied Microelectronics and CE.
- [18] Te-Yuan Huang I-Hei Ng Polly Huang Seng-Yong Lau, Tsung-Han Lin. *A Measurement Study of Zigbee-based Indoor Localization Systems Under RF Interference*.
- [19] Shashank Tadakamadla. *Indoor Local Positioning System For ZigBee, Based On RSSI*. Mid Sweden University The Department of Information Technology and Media, October 2006.
- [20] ZigBee Alliance, ZigBee Alliance, Inc, 2400 Camino Ramon, Suite 375 San Ramon, CA 94583, USA. *ZigBee Specification*, January 2008.

Apêndice A

Anexos - Protocolo Zigbee

Topologias de Rede

Para além da topologia estrela, a qual está descrita no documento, o protocolo Zigbee ainda providencia mais duas topologias que podem ser uma alternativa à primeira.

Esta topologias são as seguintes.

Árvore (Cluster Tree)

Nesta topologia tem algumas semelhanças com a topologia anterior, no caso de se estender a topologia de estrela para suportar vários hops. Para construir esta topologia basta integrar *routers* de informação de modo a ligar dispositivos que esteja no limiar da rede ao coordenador. A distribuição de dados e de mensagens de controlo é efectuada numa estrutura hierárquica com o coordenador assumindo a estrutura da rede.

Os dispositivos Coordenadores e *Routers* são *Full Function Devices* (FFD), enquanto os *end devices* podem ou não ser FFD, normalmente sendo *Reduced Function Devices* (RFD).

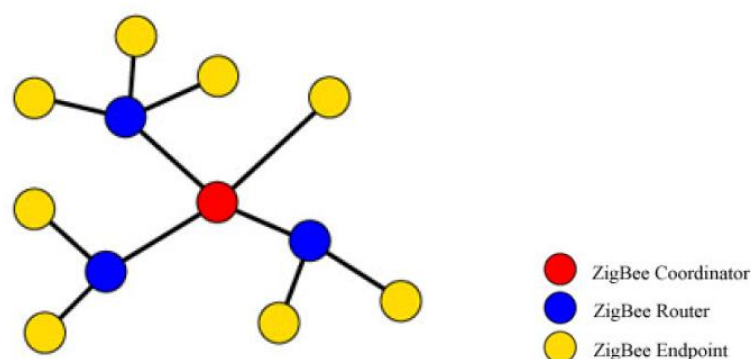


Figura A.1: Topologia Árvore

Malha (Mesh)

Esta topologia complementa a topologia árvore, uma vez que tal como na anterior, os dispositivos podem assumir as três funções, podendo ser coordenador, *router* ou *end device*, e permite vários níveis de conectividade, ainda acrescenta a funcionalidade de os dispositivos estarem conectados uns entre os outros, não só para encontrar o caminho mais próximo para o coordenador, mas também de modo a encontrar caminhos diversos entre os vizinhos mais próximos.

Deste modo é possível haver transferência de informação entre qualquer dispositivo sem a necessidade da intervenção do coordenador.

Esta topologia também permite contornar o problema de falta de conectividade por parte de um *router*, pois caso algum *router* por alguma razão perde conectividade, a informação pode ser encaminhada por um caminho alternativo.

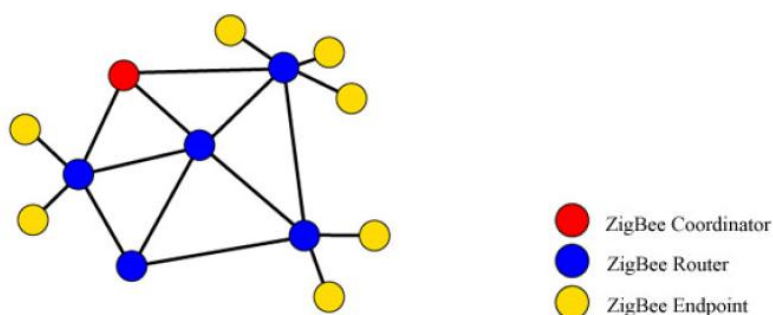


Figura A.2: Topologia Malha

Arquitectura Protocolar ZigBee / IEEE 802.15.4

A arquitectura protocolar do Zigbee está dividida nas diferentes camadas como se pode ver na seguinte figura.

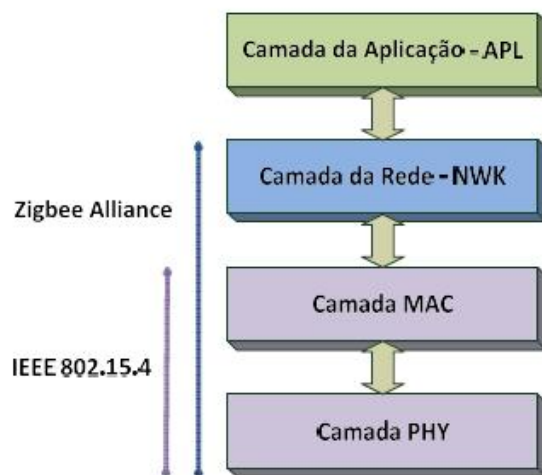


Figura A.3: Anexo Camadas do Protocolo Zigbee

A cada camada está associada um conjunto de tarefas específicas, as quais serão descritas nas seguintes secções.

Camada Física - PHY

A camada física encarrega-se de transmitir e receber dados através do canal de transmissão RF. Algumas das suas características são:

- Activação e desactivação do transceiver rádio
- Detecção de Energia (ED)
- *Link Quality Indication* (LQI)
- *Clear Channel Assessment* (CCA) para *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA-CA)
- Selecção da frequência do canal
- Transmissão e recepção de dados via RF

Camada de Acesso ao Meio - MAC

Esta camada é a que fornece ligação para a camada mais baixa, ou seja a camada física. É responsável pelas seguintes tarefas:

- Gerar as beacons da rede no caso do dispositivo ser o coordenador
- Providencia sincronização para as beacons na rede
- Suporta associação e dissociação de dispositivos na WPAN
- Suporta segurança do dispositivo
- Implementa o mecanismo CSMA-CA para acesso ao canal
- Manusear e manter o mecanismo de *Guaranteed Time Slot* (GTS)
- Fornecer um vínculo de confiança entre duas entidades pares MAC (*acknowledgement*, retransmissão e verificação de dados transmitidos)

Camada de Rede - NWK

Esta camada é hierarquicamente a primeira camada do protocolo Zigbee, e as tarefas à qual está associada são, descobrir novos dispositivos na vizinhança de modo a possibilitar conexão com estes, iniciar ou terminar a conexão com tais dispositivos, é esta camada que detém a informação dos dispositivos na rede e disponibiliza endereços se for no caso de um coordenador.

Esta camada ainda possui mecanismos de descoberta de rotas de encaminhamento, para possibilitar um correcto fluxo de informação.

Camada de Aplicação - APL

A camada de aplicação maioritariamente está ao encargo do utilizador, mas para possibilitar suporte e uma correcta gestão dos recursos das camadas inferiores, é incluída nesta camada algumas sub-camadas, uma denominada por *Application Support Sublayer* (APS) fornece o suporte e a Zigbee *Device Object* (ZDO) é responsável pela gestão do dispositivo.

Na figura A.4 pode-se ver com mais detalhe as camadas protocolares referidas.

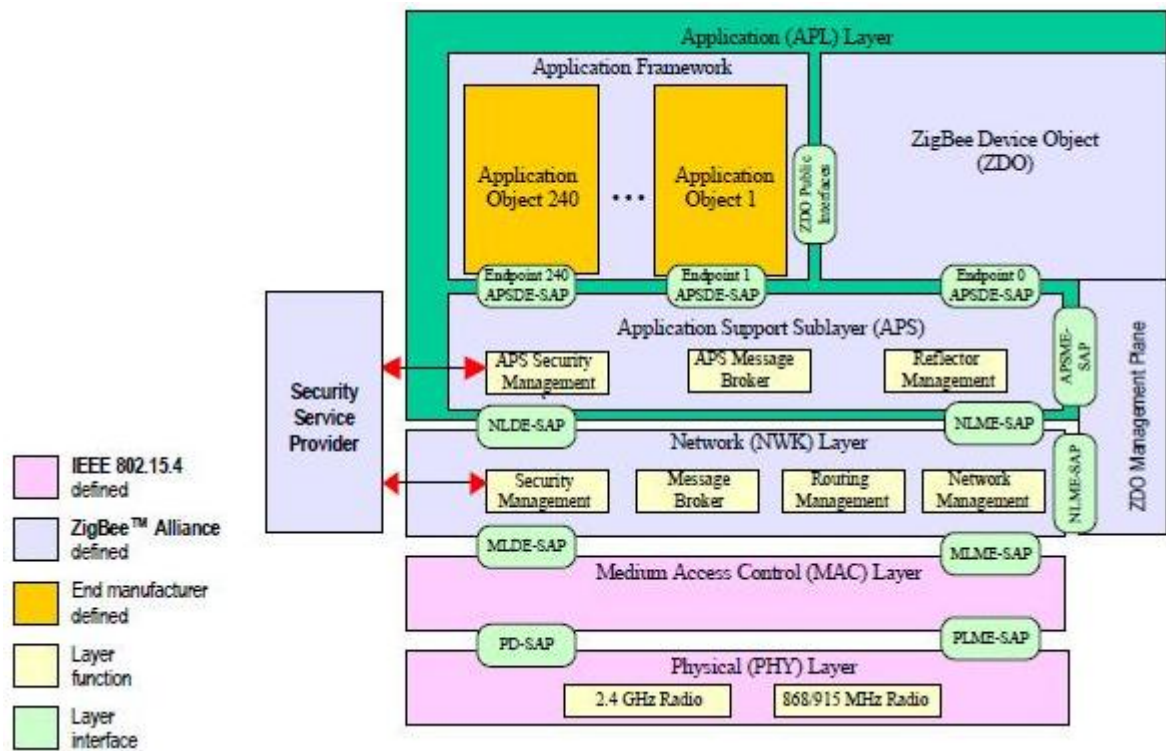


Figura A.4: Detalhes das Camadas Protocolares Zigbee